

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSC.03/2025.27.12.K.01.13.M RAQAMLI ILMIY KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

TULIYEV BEXRUZ ALIMQULOVICH

**TEMIR(III) VA MIS(II) IONLARINI SPEKTROFOTOMETRIK
ANIQLASH USLUBLARINI ISHLAB CHIQISH**

02.00.02 - Analitik kimyo

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Tuliyev Bexruz Alimqulovich

Temir(III) va mis(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlash uslublarini ishlab
chiqish..... 3

Тулиев Бехруз Алимкулович

Разработка методов спектрофотометрического определения ионов
железа(III) и меди(II)..... 21

Tuliyev Bekhruz Alimqulovich

Development of spectrophotometric methods for the determination of
iron(III) and copper(II) ions..... 41

E’lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 45

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSC.03/2025.27.12.K.01.13.M RAQAMLI ILMIY KENGASH

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

TULIYEV BEXRUZ ALIMQULOVICH

**TEMIR(III) VA MIS(II) IONLARINI SPEKTROFOTOMETRIK
ANIQLASH USLUBLARINI ISHLAB CHIQISH**

02.00.02 - Analitik kimyo

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.2.PhD/K976 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiyasi O'zbekiston Milliy universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida www.ik-kimyo.nuuz.uz va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Turabov Nurmuxammad Turabovich
kimyo fanlari nomzodi, professor

Rasmiy opponentlar:

Abduraxmonov Ergashboy
kimyo fanlari doktori, professor

Ashirov Mansur Allanazarovich
kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori, katta ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

Toshkent kimyo texnologiya instituti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/2025.27.12.K.01.13.M raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil «21» 07 soat «12⁰⁰» dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100174, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 4-uy. Tel.: (99871) 246-07-88, faks: (+99871) 246-02-24; e-mail: ilmiy_kengash@nuu.uz).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Milliy universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (157 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil 100174, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 4-uy.) Tel: (+99871) 246-07-88, 277-12-24; faks: (+99871) 246-02-24; e-mail: ilmiy_kengash@nuu.uz

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil «10» 07 kuni tarqatildi.

(2026 - yil «08» 07 dagi 16 -raqamli reestr bayonnomasi).



T.S. Xoliqov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi, k.f.d., professor

U.O'. Ruzmetov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash kotibi, k.f.d., dotsent

Z.A. Smanova
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi, k.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda ilm-fan, texnika, tibbiyot, atrof-muhit, oziq-ovqat va ishlab chiqarish mahsulotlarining turli xil sanoat chiqindilari hamda og‘ir va zaharli metall ionlari bilan ifloslanishi ijtimoiy-iqtisodiy ahamiyatga ega bo‘lgan kuchli ekologik muammolarni keltirib chiqarayotganligi sababli, ularni kelib chiqishini oldini olish asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Sanoatda og‘ir va zaharli metall ionlaridan oqilona foydalanish hamda ularning mikromiqdorini aniqlashda ekspress, arzon va selektiv bo‘lgan yangi uslublarni ishlab chiqish hamda nazorat qilish bo‘yicha keng qamrovli ishlar olib borilmoqda. Olib borilayotgan dasturiy chora-tadbirlar asosida tabiiy suvlar, rudalar, sanoat chiqindi mahsulotlari tarkibidan Fe(III) va Cu(II) ionlarini miqdoriy aniqlash uslublarini ishlab chiqish muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Jahonning yetakchi olimlari tomonidan og‘ir va zaharli metall ionlarini spektrofotometrik aniqlash usuli yordamida tabiiy va oqova suvlar tarkibidan aniqlash va sanoat chiqindilaridan ajratib olish, ularning tarkibini aniqlashning tanlab ta‘sir etuvchan va yuqori sezgir usullarini ishlab chiqish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda, jumladan, Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashda yangi kompleks hosil qiluvchi funksional analitik guruhlari saqlagan organik analitik reagentlarni qo‘llash orqali yuqori sezgirlikni, selektivlikni va ekspresslikni oshirishga alohida e‘tibor berilmoqda.

Mamlakatimizda kimyo sanoatida yangidan-yangi turdagi materiallar ishlab chiqarish yo‘nalishida ma‘lum natijalarga erishildi, jumladan mahalliy bozorni import o‘rnini bosuvchi kimyoviy reagentlar bilan ta‘minlash sohasida keng ko‘lamli tadbirlar amalga oshirildi. Ta‘kidlash joizki, Respublikamizda, innovatsion texnologiyalarni tadbiq etish orqali sanoat ob‘yektlarini yuritishning ilmiy asoslangan tizimi va atrof-muhitni muhofaza qilishning chora-tadbirlarini amalga oshirishga katta e‘tibor qaratilmoqda. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasida¹ «Mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida, yuqori qo‘shimcha qiymatli tayyor mahsulot ishlab chiqarishni yanada jadallashtirish, sifat jihatdan yangi mahsulot va texnologiya turlarini o‘zgartirishga» qaratilgan muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada respublikamizda temir va mis kabi og‘ir va zaharli metall ionlarining kimyo, aviatsiya, tibbiyot, xalq xo‘jaligi sanoatlarida keng qo‘llanilganligi sababli, ularni aniqlashning zamonaviy, ishonchli, ekspress va iqtisodiy jihatdan arzon usullarini yaratish muhim ahamiyatga ega.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi PF-60-sonli Farmoni va 2019-yil 3-apreldagi «Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PQ-4265-sonli Qarori ijrosini ta‘minlashda hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti natijalari muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishi ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi Farmoni

texnologiyalar rivojlanishining VII. “Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar” doirasiga muvofiq bajarilgan.

Muammoni o‘rganilganlik darajasi. Turli xil sun’iy aralashmalar, sanoat qotishmalarining standart namunalari, tabiiy va oqova suvlar, oziq-ovqat hamda biologik obyektlarda Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlash bilan dunyo miqyosidagi ko‘plab Xorijiy olimlar shug‘ullangan va mazkur yo‘nalish hozirgi kunda ham muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etib kelmoqda. Ular tomonidan ishlab chiqilgan ushbu og‘ir metall ionlarining mikro-miqdorlarini aniqlashning fizik–kimyoviy usullari murakkab apparaturaviy jihozlanishi va yuqori iqtisodiy xarajatlari yuqoriligi bilan tavsiflanadi. Shu sababli, atrof-muhit obyektlari tarkibidagi og‘ir metallarning ionlarini aniqlashning sezgirligi yuqori, selektiv, sodda va iqtisodiy jihatdan arzon bo‘lgan yangi spektrofotometrik usullarini ishlab chiqishga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Mazkur yo‘nalishda faoliyat olib borayotgan va eng ko‘p iqtibos keltiriladigan olimlarning ishlari alohida e‘tiborga loyiqdir. Jumladan, Xorijiy olimlar: Mustafa Soylak (Turkiya), Ali Shokrollahi, Mehdi Ghaedi, Alireza Afkhami, Tayebeh Madrakian (Eron), Robert G. Parr (AQSH), Kenichi Fukui (Yaponiya), Prisco Prete (Italiya), Christoph Janiak (Germaniya), Mustafa Hamid Atiyah (Iroq) va boshqa tadqiqotchilar tomonidan metall ionlarini spektrofotometrik aniqlashning nazariy va amaliy asoslari rivojlantirilgan.

MDH davlatlari olimlaridan Kerim A. Kuliyeu, Farman M. Chiragov, Ali Z. Zalov, N. A. Verdizade (Ozarbayjon), A. I. Busev, Y. Y. Lurie, B. N. Tarasevich, A.V. Bulatov (Rassiya Federatsiyasi) va boshqa olimlar ekstraksion-fotometrik hamda spektrofotometrik analiz usullarini rivojlantirishga katta hissa qo‘shganlar.

Mazkur olimlar qatoriga zamonaviy o‘zbek olimlari ham kiradi. Ayniqsa, Sh. T. Tolipov tomonidan Respublikada va Markaziy Osiyoda analitik kimyogarlarning ilmiy maktabiga asos solingan bo‘lib, uning ilmiy faoliyati optik va elektrokimyoviy tahlil usullarini, xususan fotometrik, spektrofotometrik, kompleksonometrik, inversion-voltamperometrik hamda amperometrik titrlash usullarini rivojlantirishga bag‘ishlangan. O‘zbekistonda ushbu yo‘nalishning rivojlanishi bevosita A.K. Jdanov, V.A.Xadeev, N.B.Babaev, T.K.Hamraqulov, A.M. Gevorgyan, R.H.Djiyanbaeva, E.L.Krukovskaya, K.Z.Rahmatullaev, L.V. Chaprasova, I.P. Shesterova, O.F. Fayzullaev, N.T. Turabov, X.X.Turaev, Z.A. Smanova, A.M. Nasimov, E.Abdurahmanov, Y.Sh. Eshmurzayev, N.H.Qutlimurotova va boshqa olimlarning tadqiqotlari bilan chambarchas bog‘liqdir. Ammo yangi organik rea-gentlardan foydalanib Fe(III) va Cu(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlash uchun ekologik va analitik tahlillarda tadqiqotlar, amaliyotda yetarlicha o‘rganilmagan.

Dissertatsiya mavzusining bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy–tadqiqot rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O‘zbekiston Milliy universiteti “Analitik kimyo” kafedrasida ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining “Atrof-muhit obyektlaridan ayrim og‘ir va zaharli metallar ionlarining monitoring qilish va ularni mikro miqdorlarini aniqlashning yangi spektrofotometrik usullarini ishlab chiqish” (2020-2025 y.y.) mavzusi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi yangi sintez qilingan azoreagent asosida Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashning yuqori sezgir va selektiv spektrofotometrik uslublarni yaratishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

naftalin asosidagi yangi 4-amino-5-gidroksi-6-(piridil-2-azo)-3-sulfonaftalin-1-sulfokislolaning mononatriyli tuzi (4AGPASS) reagentini sintez qilish va uning fizik-kimyoviy xossalarini aniqlash;

4AGPASS va uning metall ionlari bilan hosil qilgan komplekslarining fizik-kimyoviy xossalari, spektral tavsiflari, haqiqiy molyar so'ndirish koeffisienti, komp-leks birikmalarning tarkibiy mollar nisbati va muvozanat konstantalarini aniqlash;

darajalangan grafikning to'g'ri chiziq tenglamasi va tekshirilayotgan analitik reaksiyalarning selektivligini turli xil ionlar ishtirokida eritmada va sun'iy binar, murakkab aralashmalar, standart sanoat qotishmalari va biologik obyektlar hamda real tabiiy obyektlar tarkibidan Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlash;

ishlab chiqilgan uslublarning to'g'riligi va qayta tiklanuvchanligi "kiritildi-topildi" usuli yordamida aniqlash, quyi aniqlanish chegarasini o'rnatish hamda olingan natijalarini metrologik baholash;

Fe(III) va Cu(II) ionlarini eritmada yangi azo reagent 4AGPASS bilan spektrofotometrik aniqlash uslublarini tavsiya qilish;

ishlab chiqilgan uslublarni laboratoriya sharoitlarida sinovdan o'tkazish va real obyektlar tarkibidan Fe(III) va Cu(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlashning yangi uslublarini ishlab chiqish hamda turli murakkab obyektlar va materiallar analizining ratsional yechimlarini izlashda qo'llash.

Tadqiqotning obyekti sifatida turli xil tarkibli sun'iy aralashmalar sanoat qotishmalarining standart namunalari, tabiiy va oqova suvlar, oziq-ovqat va biologik obyektlar tanlangan.

Tadqiqotning predmeti sifatida Fe(III) va Cu(II) ning yangi sintez qilingan 4AGPASS reagenti bilan kompleks hosil qilish reaksiyalari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari sifatida fotometrik, spektrofotometrik (UV-vis), potensiometrik, IQ, Raman va YMR spektroskopiyasi hamda kvant-kimyoviy hisoblash usullari qo'llanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

yangi selektiv 4AGPASS reagenti sintez qilindi va uning suyuqlanish temperaturasi ($t=392^{\circ}\text{C}$), molyar so'ndirish koeffisient ($\epsilon=3100$) va dissosilanish konstantasi ($K_{\text{diss.}}=8,9 \cdot 10^{-8}$ va $\text{pK} = 7,05$) aniqlangan;

Fe(III) va Cu(II) bilan kompleks hosil bo'lishning spektrofotometrik aniqlash sharoitlarini optimallashtirish qonuniyatlari kuchsiz kislotali (atsetatli bufer $\text{pH}=5,0$) va kuchli kislotali (universal bufer $\text{pH}=2,30$) muhitlarda, Buger-Lambert-Ber qonuniga bo'ysinishi mos ravishda 5,0-35,0 va 1,0-6,0 mkg oraliqlarida ekanligi; nur yutish maksimumlarining batoxrom siljishlari $\Delta\lambda=65$ nm va $\Delta\lambda=100$ nm ga tengligi aniqlangan;

analitik signallar va konsentratsiya o'rtasidagi bog'lanish regressiya tenglamalari Cu(II) uchun: $Y_i=0,0159+0,0452X_i$ ga, Fe(III) uchun: $Y_i=0,0180+0,0053X_i$ ga tengligi, Tolmachyovni grafik usuli bo'yicha $\epsilon_{\text{haq}}(\text{Cu})=14286 < \epsilon_{\text{haq}}(\text{Fe})=52631$ ga, Sendel bo'yicha sezgirligi Fe(III) uchun 0,0086 mkg/sm², Cu(II) uchun 0,0064 mkg/sm² ga tengligi isbotlangan;

usulning selektivligi va sezgirligini aniqlashning quyi chegaralari (LOD): Fe(III) – 0,0536 mkg/sm³ ga; Cu(II) – 0,226 mkg/sm³ ga teng. Miqdoriy aniqlash chegaralari (LOQ, 10 σ mezoni bo'yicha): Fe(III) – 0,107 mkg/sm³; Cu(II) – 0,451

mkg/sm³ ga teng ekanligi hisoblangan;

ishlab chiqilgan uslublarini sanoat qotishmalari, tabiiy va oqova suvlar, oziq-ovqat hamda biologik obyektlarda analiziga qo'llanilib nisbiy standart chetlanish (S_r) qiymatlari $Cu(II) \leq 0,035$ ga; $Fe(III) \leq 0,045$ ga tengligi, yuqori takrorlanuvchanligi va statistik ishonchliligi tasdiqlangan hamda student mezonlari bilan analitik va metrologik tavsiflarini yuqoriligi baholangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

aniqlangan optimal sharoitlar asosida $Fe(III)$, $Cu(II)$ ionlarini binar va murakkab aralashmalar, sanoat namunalari, tabiiy suvlar, minerallar va boshqa atrof-muhit obyektlari tarkibidan 4AGPASS reagenti bilan aniqlashning iqtisodiy jihatdan arzon, tezkor, sezgir, selektiv uslubalari ishlab chiqilgan;

ishlab chiqilgan uslublarning optimal sharoitlari: muhitning kislotaligi va $Fe(III)$, $Cu(II)$ ionlari va 4AGPASS reagentining konsentratsiyasi, turli bufer aralashmalarining tarkibi, elektron yutilish spektrlari, mollar nisbatlari va boshqa fizik-kimyoviy tavsiflari aniqlangan;

$Fe(III)$ va $Cu(II)$ ionlarini 4AGPASS bilan atrof-muhit obyektlari tarkibidan ekologik xavfsiz selektiv spektrofotometrik aniqlash uslublari yaratilgan.

Olingan natijalarining ishonchliligi fotometriya, spektrofotometriya, potensiometriya, IQ, Raman va YMR spektroskopiyasi kabi zamonaviy fizik-kimyoviy uslublar hamda kvant-kimyoviy hisoblashlar bilan isbotlangan. Xulosalar matematik statistika uslublari bilan qayta hisoblangan tajriba natijalari tahlil qilingan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati $Fe(III)$ va $Cu(II)$ ionlarini atrof-muhit obyektlaridan aniqlashni ta'minlaydigan keng sohadagi pH va konsentratsiya oralig'i, haqiqiy molyar so'ndirish koeffitsienti (ϵ), Sendel bo'yicha sezgirliigi, reaksiya kontrastligini tavsiflovchi $\Delta\lambda$ farqi, muvozanat va barqarorlik (β_k) konstantalari kabi metrologik tavsiflarini o'rnatilganligi yangi spektrofotometrik aniqlash uslublari taklif qilingani bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan yangi ekologik xavfsiz, selektiv spektrofotometrik uslublarini atrof-muhit obyektlaridan $Fe(III)$ va $Cu(II)$ ionlarini ruxsat etilgan miqdorgacha va undan ancha kichik bo'lgan konsentratsiyalarni individual eritmalaridan, sun'iy, binar, tabiiy suv, sanoat qotishmalari va murakkab aralashmalardan aniqlashga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. $Fe(III)$ va $Cu(II)$ ionlarini 4AGPASS bilan spektrofotometrik aniqlash uslublarini ishlab chiqishda olingan ilmiy natijalar asosida:

$Cu(II)$ ionlarini ishlab chiqilgan aniqlash uslubi bo'yicha olingan ma'lumotlardan xorijdagi yuqori impakt faktorli ilmiy jurnallardagi 6 ta maqolalarda analitik va metrologik tavsiflarni yaxshilash uchun foydalanilgan (Journal of Molecular Modeling, 2024, 30(11):376, Scopus, IF=2,5; Journal of Chemistry Letters, 2025, 6(3):157-165; 2025, 6(4):317-324; 2026, 7(1):41-53, Scopus, IF=2,5; Chemical Review and Letters, 2025, 8(5):955-966, Chemical Abstracts, Scopus, IF=5,2; Theoretical Chemistry Accounts, 2025, 144(1):7, IF=1,5 va boshqalar). Natijada yangi ishlab chiqilgan uslublarni solishtirish, analitik va metrologik tavsiflarini yaxshilash imkoni yaratilgan;

spektrofotometrik usuli yordamida $Fe(III)$ va $Cu(II)$ ionlarini aniqlash uslub-

lari “Maxam-Uzbekistan” MCHJ O‘zbekiston-Ispaniya qo‘shma korxonasi kimyoviy laboratoriyasiga joriy etilgan (“Maxam-Uzbekistan” MCHJ O‘zbekiston-Ispaniya qo‘shma korxonasi 2026-yil 26-martdagi № 26/03-14-son ma’lumotnomasi). Natijada ishlab chiqilgan uslublar 4AGPASS reagenti yordamida Fe(III) va Cu(II) ni oqova suvlar tarkibidan aniqlash imkonini bergan;

Cu(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlash uslubi “Metal procesing technology” MCHJ korxonasi laboratoriyasini amaliyotiga oqova suv analizida qo‘llanilgan (“Metal procesing technology” MCHJ ning 2026-yil 17-apreldagi ma’lumotnomasi). Natijada ishlab chiqilgan uslublar Fe(III) va Cu(II) ionlarini mikromiqdorini aniqlashda tezkorlikni, aniqlikni, sezgirlikni va selektivlikni oshirish hamda analitik va metrologik tavsiflarini yaxshilash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 11 ta, jumladan 6 ta Xalqaro va 5 ta Respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 16 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta ilmiy maqola, jumladan 3 ta Respublika va 2 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiya ishining hajmi va tuzilishi. Dissertatsiyaning tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 117 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va ilmiy-amaliy ahamiyati asoslab berilgan. Shuningdek, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obykti hamda predmeti aniq belgilangan. Ishning O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatib berilgan. Bundan tashqari, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan hamda ishning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan. Shuningdek, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish imkoniyatlari yuzasidan xulosalar keltirilgan, chop etilgan ilmiy ishlar hamda dissertatsiya tuzilishi haqida ma’lumotlar berilgan.

Dissertatsiyaning “**Temir (III) va mis (II) ionlarini optik va boshqa fizik-kimyoviy aniqlash usullari (adabiyotlar sharhi)**” deb nomlangan birinchi bobida mavzu bo‘yicha adabiyotlar tahlili keltirilgan. Unda Fe(III) va Cu(II) ionlarini suvli muhitlarda turli xil reagentlar yordamida optik hamda fizik-kimyoviy usullar bilan aniqlashga bag‘ishlangan xorijiy va respublika olimlarining ilmiy ishlari tahlil qilingan. Analitik kimyoda organik analitik reagentlardan foydalanish metall ionlarini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday reagentlar metall ionlari bilan o‘zaro ta’sirlashib barqaror rangli kompleks birikmalar hosil qilishi hamda yuqori sezgirlik va selektivlikni ta’minlashi bilan tavsiflanadi. Adabiyotlar tahlili natijasida Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashning mavjud usullari imkoniyatlari

baholanib, mazkur tadqiqot ishining maqsadi, vazifalari va tadqiqot yo‘nalishini tanlash uchun ilmiy asos yaratildi.

Dissertatsiyaning **“Reagent sintezi va kompleks hosil bo‘lishining optimal sharoitlarini o‘rnatish, uning metallokomplekslarini spektrofotometrik tavsiflarini aniqlash”** deb nomlangan ikkinchi bobida standart va ishchi eritmalarini tayyorlash usullari bayon etilgan. Shuningdek, reagentning identifikatsiyasi o‘tkazilib, Fe(III) va Cu(II) ionlari bilan sifat reaksiyalari o‘rganilgan. Kompleks hosil bo‘lish reaksiyalarining optimal sharoitlari aniqlanib, ularning spektrofotometrik tavsiflari tanlangan hamda komplekslarning tarkibiy molyar nisbatlari aniqlangan. Bundan tashqari, reagent va uning Fe(III) hamda Cu(II) ionlari bilan hosil qilgan komplekslarining sezgirligi hamda ayrim fizik-kimyoviy konstantalari spektrofotometrik usulda baholangan.

Reagentning tuzilishi elektronkvant-kimyoviy hisoblashlar, IQ, Raman va PMR spektroskopiya usullari yordamida tasdiqlangan. Piridin hosilalarini tozalash uchun bir martalik qayta kristallanish yetarli bo‘lishi aniqlangan. Spektrofotometrik tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, ushbu ishda organik analitik reagent sifatida qo‘llanilgan piridilazo birikmasi 505-525 nm oraliqda bitta maksimal yutilish chizig‘iga ega ekanligi hosil bo‘lgan moddaning tozaligi hamda tautameriya kuzatilmagani aniqlangan. Reagentning eritmada holatini aniqlash maqsadida uning yutilish spektrining turli pH muhitlariga bog‘liqligi o‘rganilgan. Natijalar reagentning pH 2,0-3,0 oralig‘ida 500-505 nm, pH 5,0-7,0 oralig‘ida 515-525 nm, pH 7,0-10,0 oralig‘ida 515-525 nm hamda pH 10,0-13,0 oralig‘ida 510-525 nm sohalarida maksimal yutilishga ega ekanligini ko‘rsatdi.

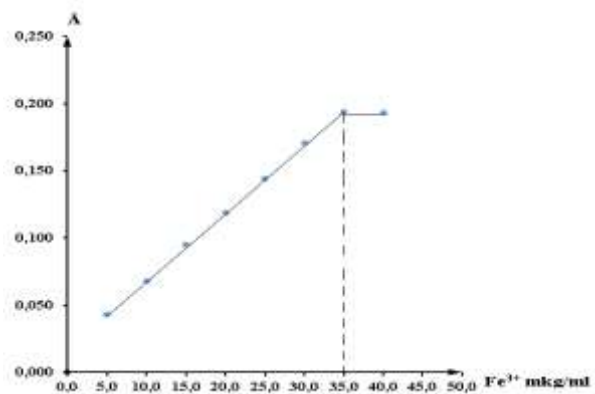
Hisoblash natijalariga ko‘ra elektron bulutning zichligi -N=N- va -OH guruhlarida katta ekanligi, hamda reaksiyada ayni shu guruhlar qatnashishi nazariy tomonlama hisoblab topildi. Olingan natijalar asosida metall va reagentning doimiy konsentratsiyasida kompleks eritmalarining optik zichligining eritma to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi aniqlandi. Komplekslarning maksimal optik zichligi Fe(III)-4AGPASS kompleksi uchun atsetatli bufer pH 5,0-5,2 oralig‘ida, Cu(II)-4AGPASS kompleksi uchun esa universal bufer pH 2,3-2,4 oralig‘ida kuzatildi.

Metall ionlarining kompleksga to‘liq bog‘lanishini ta‘minlash maqsadida reagentning optimal miqdorini aniqlash uchun metall ionlari konsentratsiyasi o‘zgarmas holda saqlanib, reagent miqdori bosqichma-bosqich oshirilib bir qator tajribalar o‘tkazildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, 50,0 mkg Fe(III) va 10,0 mkg Cu(II) ionlarini kompleksga to‘liq o‘tkazish uchun 0,05 % li (4AGPASS) eritmasidan mos ravishda 1,0 ml va 1,2 sm³ miqdor yetarli ekanligi aniqlandi. Keyingi tajribalarda reagentning optimal miqdori sifatida aniqlangan ushbu hajmlardan foydalanildi.

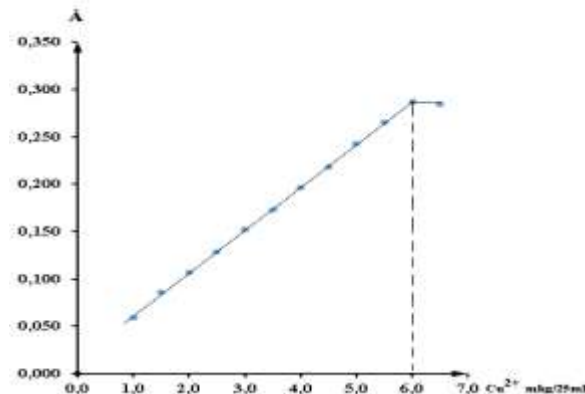
Fe(III) va Cu(II) ionlari 4AGPASS bilan komplekslarining yuqori sezgirligi, kontrastligi hamda vaqtga nisbatan barqarorligi ularni spektrofotometrik aniqlashda qo‘llash imkonini berdi. Optimal sharoitlarda metall ionlarining 4AGPASS bilan reaksiyalari Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysunishi aniqlandi. Kompleks eritmalarining optik zichligi bilan Fe(III) va Cu(II) ionlari konsentratsiyasi o‘rtasida to‘g‘ri chiziqli bog‘lanish kuzatilib, u 25,0 sm³ hajmli eritmada Fe(III) uchun 5,0-35,0 mkg/sm³ hamda Cu(II) uchun 1,0-6,0 mkg/sm³ konsentratsiyalar oralig‘ida saqlanishi aniqlandi (1 va 2-rasmlar).

Temir(III) va mis(II) komplekslarining 4AGPASS reagenti bilan tarkibiy

mollar nisbati muvozanatlar siljishi, spektrofotometrik titrlash, izomolyar seriyalar va Asmusning to'g'ri chizikli metodlari yordamida aniqlandi. Eritmalarning umumiy hajmi doimiy holda ($V_{Me} + V_{HR} = \text{const}$) saqlanib, metall tuzlari eritmalari va reagentning izomolyar miqdorlari antibat nisbatlarda aralashtirilib, reaksiyaga kirishuvchi komponentlarning nisbatlari aniqlandi. Bunda eritmaning umumiy hajmida ikkita komponentning gramm-molining umumiy miqdori doimo o'zgarmas holda saqlanib turdi (3-4 rasmlar).

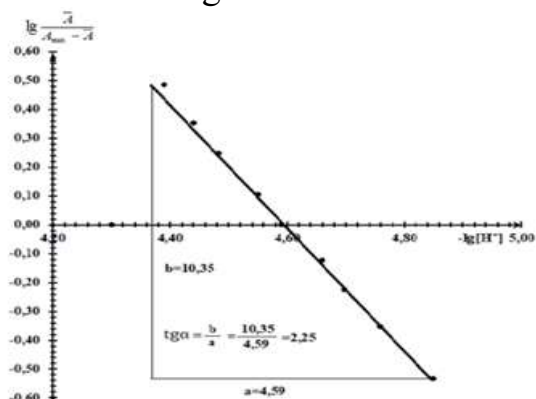


1-rasm. 4AGPASS bilan Fe(III) komplekslarining Buger-Lambert-Ber qonuniga bo'ysunish grafiği

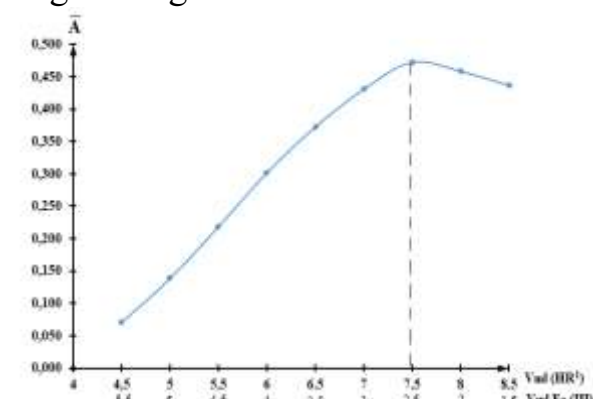


2-rasm. 4AGPASS bilan Cu(II) komplekslarining Buger-Lambert-Ber qonuniga bo'ysunish grafiği

Olingan natijalar (3-4-rasmlar) 4AGPASS reagenti bilan Fe(III):(4AGPASS) = 1:3 va Cu(II):(4AGPASS) = 1:2 komplekslarining tarkibi turli mustaqil usullar bilan tekshirilganda ham bir xil nisbatga teng ekanligini ko'rsatdi.



3-rasm. Muvozanatlar siljishi usuli bilan Cu(II) kompleksining tarkibiy mollar nisbatini aniqlash grafiği



4-rasm. Izomolyar seriyalar usuli yordamida 4AGPASS bilan Fe(III) kompleksining tarkibiy mollar nisbatini aniqlash grafiği

Kompleks hosil bo'lishining optimal sharoitlarida rangli reaksiyalarning asosiy spektrofotometrik tavsiflari, jumladan reagent va komplekslarning maksimal yutilish spektrlari, reaksiyaning kontrastligini tavsiflovchi $\Delta\lambda$ farqi hamda boshqa ko'rsatkichlar aniqlandi (1-jadval).

Olingan spektrofotometrik ma'lumotlar asosida 4AGPASS reagentining nur yutilishining molyar so'ndirish koeffitsienti (ϵ) va dissotsiatsiya konstantasi (K_{diss}) Komar usuli yordamida aniqlandi. Hisoblash natijalariga ko'ra $\epsilon_{HR} = 3100$ hamda $K_{\text{diss}} = 8,9 \cdot 10^{-8}$ ($pK = 7,05$) qiymatlariga tengligi aniqlanib, barcha tajribalarda (4AGPASS) reagentining konsentratsiyasi $1,081 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ ni tashkil etdi. Bu reagentning protolitik xossalarini tavsiflaydi. Ushbu qiymatlar reagent molekulasining naftol yadrosidagi -OH guruhidan protonning ajralishi natijasida

hosil bo'ladigan dissotsiatsiya jarayoni bilan izohlanadi. Ma'lumki, organik analitik reagentlarning protolitik xossalari ularning metall ionlari bilan kompleks hosil qilish qobiliyatini belgilovchi muhim omillardan biridir.

A.I. Busev adabiyotida ta'kidlanganidek, analitik reagentlarning spektral xossalari, nurni molyar so'ndirish koeffitsienti va dissotsiyanish konstantalarining barqaror qiymatlari reagentning yuqori tozaligi hamda spektral bir jinsligini ko'rsatadi. Shu sababli olingan ϵ va pK qiymatlari 4AGPASS reagentning yetarli darajada tozalanganligini hamda spektrofotometrik analiz uchun samarali xromogen reagent ekanligini tasdiqlaydi. Mazkur reagentning dissotsiatsiyalangan shakli metall ionlari bilan barqaror rangli kompleks birikmalar hosil qilish xususiyatiga ega bo'lib, bu esa Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashda uning analitik imkoniyatlarini kengaytiradi. 4AGPASS reagenti bilan temir(III) va mis(II) ionlarining kompleks hosil qilish reaksiyalarida haqiqiy nurni molyar so'ndirish koeffitsienti ($\epsilon_{\text{haq.}}$) hamda muvozanat konstantasi ($K_{\text{muv.}}$) Tolmachyov metodi yordamida aniqlandi (1-jadval). Bunda teng konsentratsiyali eritmalaridan foydalanildi (mol/l): $C_{\text{Fe}^{3+}} = C_{\text{HR}} = 5,371 \cdot 10^{-4}$ va $C_{\text{Cu}^{2+}} = C_{\text{HR}} = 3,147 \cdot 10^{-4}$.

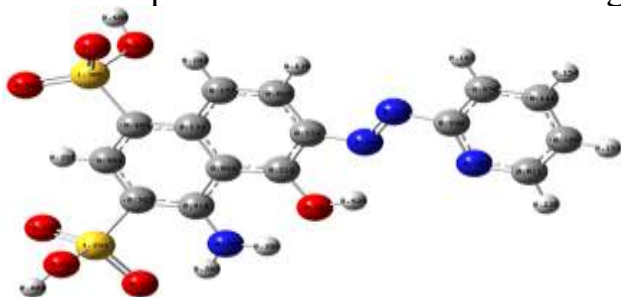
1-jadval

Fe(III) va Cu(II) metalokomplekslarining spektrofotometrik tavsiflari

Kompleks- lar tarkibi	$\lambda_{\text{max}} = \text{nm}$			$\epsilon_{\text{haq.}}$ (MR)	$K_{\text{muv.}}$	$K_{\text{beq.}}$	$\beta_{\text{bar.}}$	$\lg \beta_{\text{bar}}$
	M:(HR)	(HR)	$\Delta\lambda$, nm					
Fe-(HR) ₃	590	525	65	52631	0,092	$1,15 \cdot 10^{-18}$	$8,71 \cdot 10^{17}$	17,94
Cu-(HR) ₂	600	500	100	14286	1,13	$3,847 \cdot 10^{-17}$	$2,59 \cdot 10^{16}$	16,41

Dissertatsiyaning uchinchi bobi “**4AGPASS ni temir(III) va mis(II) ionlari bilan kompleks hosil qilishining fizik-kimyoviy xossalari va selektivligi**” deb nomlangan. Gaussian 09 dasturida (5-rasm) kvant-kimyoviy hisoblashlar natijasida 4AGPASS reagent molekulasidagi atomlarning qisman zaryadlari taqsimlanishi aniqlandi. Hisoblash natijalari molekulada manfiy zaryadlarning asosan gidroksil kislorod atomlari va azo guruhidagi azot atomlari atrofida to'planishini ko'rsatdi. Ushbu atomlar koordinatsion faol markazlar bo'lib, ular Fe(III) va Cu(II) ionlari bilan kompleks hosil qilishda donor markazlar sifatida ishtirok etishi mumkin.

Kvant-kimyoviy hisoblashlar natijalari reagent molekulasining elektron tuzilishini va uning metall ionlari bilan kompleks hosil qilish qobiliyatini nazariy atomi orqali hosil bo'ladi hamda ion bog'lanish naftol halqasining gidroksil



5-rasm. Gaussian 09 dasturida 4AGPASS molekulasidagi atomlarda elektron zichliklarning taqsimlanishi

jihtadan asoslab beradi. Gaussian 09 dasturida 4AGPASS molekulasidagi yuqori band qilingan atomlarning effektiv zaryadlarini ko'rsatdi. Ushbu natijaga ko'ra, Fe(III) va Cu(II) komplekslarida donor-akseptor bog'lari asosan piridin halqasidagi azot atomi hamda piridin halqasiga yaqin joylashgan azo guruhidagi azot

guruhidagi kislorod atomi orqali amalga oshadi. Azobirikmalarning tuzilishini identifikatsiya qilish maqsadida reagent va uning Fe(III) hamda Cu(II) komplekslarining IQ-spektrlari olindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, IQ spektral

ma'lumotlarni tahlil qilish natijasida 4AGPASS ning sintez jarayonida modda tuzilishida sodir bo'lgan bosqichma-bosqich strukturaviy o'zgarishlar aniqlandi. Boshlang'ich modda bo'lgan 2-aminopiridinning spektrida 3441-3294 cm^{-1} oralig'ida kuzatilgan yutilish spektrlari birlamchi amin guruhiga xos bo'lgan $\nu(\text{N-H})$ cho'zilish tebranishlariga mos keladi. Bundan tashqari, 1624 cm^{-1} va 1593 cm^{-1} da qayd etilgan spektrlar piridin halqasiga xos bo'lgan $\nu(\text{C=N})$ tebranishlari hamda aromatik skeletning $\nu(\text{C=C})$ tebranishlariga tegishli bo'lib, geterosiklik aromatik tizim mavjudligini tasdiqlaydi (2-jadval).

Diazotlanish bosqichidan keyin olingan oraliq moddaning spektrida birlamchi amin guruhiga xos $\nu(\text{N-H})$ tebranish spektrlarining yo'qolishi amin guruhining diazoniyl guruhga aylanganligini ko'rsatadi. Shu bilan birga 1651 cm^{-1} atrofida paydo bo'lgan yangi yutilish spektri diazoniyl guruhining $\nu(\text{N=N}^+)$ cho'zilish tebranishiga mos keladi va 2-aminopiridin muvaffaqiyatli diazotlanganligini tasdiqlaydi.

2-jadval

Fe(III) va Cu(II) komplekslarining IQ-spektrlari

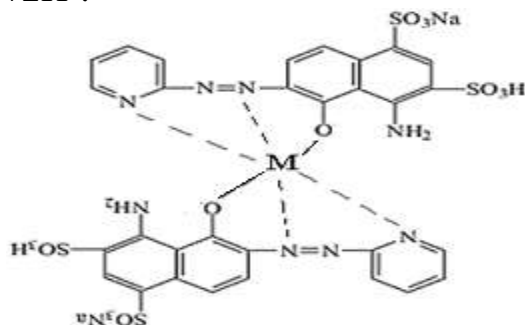
Funksional guruh	4AGPASS $\nu \text{ cm}^{-1}$	Cu(II)-HR kompleksi, $\nu \text{ cm}^{-1}$	Spektral o'zgarish xarakteri	Ilmiy xulosa
$\nu(\text{O-H})$ fenolik	3445	3398-3277 (keng, zaif)	pastga siljish, intensivlik kamayishi	fenolik -OH deprotonatsiyalanib Cu(II) bilan O orqali koordinatsiyalangan
$\nu(\text{N=N})$ azo	1651	1637-1555	siljish va intensivlik o'zgarishi	azo guruhdagi N atomlari Cu(II) bilan donor-akseptor o'zaro ta'sirga kirishgan
$\nu(\text{C=C})$ aromatik	1605	~1600	kichik siljish	aromatik π -tizimda elektron qayta taqsimlanishi
$\nu(\text{C=N})$ piridin	1566	1550-1540	pastga siljish	piridin azoti koordinatsiyada ishtirok etgan
aromatik -NH ₂ $\delta(\text{N-H})$	1512	~1510	sezilarli o'zgarish yo'q	-NH ₂ guruhi koordinatsiyada qatnashmaydi
$\nu_{\text{as}}(\text{SO}_3^-)$	1339	1335-1340	deyarli o'zgarmagan	sulfonat guruhlar koordinatsiyada ishtirok etmaydi
$\nu_{\text{s}}(\text{SO}_3^-)$	1165	1160-1168	o'zgarishsiz	natriyli sulfonat tuzi saqlangan
$\nu(\text{S-O})$	1061, 1022	~1060, ~1020	o'zgarishsiz	SO ₃ ⁻ guruhi strukturaviy rol o'ynaydi
$\gamma(\text{C-H})$ aromatik	810, 748	805-745	kichik siljish	aromatik skelet saqlangan
$\nu(\text{Cu-O}), \nu(\text{Cu-N})$	-	600-450	yangi signallar	Cu-O va Cu-N koordinatsion bog'lar hosil bo'lgan

Chikago kislotasining IQ spektrida 3460 cm^{-1} da keng yutilish spektri fenolik gidroksil guruhining $\nu(\text{O-H})$ cho'zilish tebranishiga tegishlidir. 1360-1340 cm^{-1} oralig'ida kuzatilgan kuchli spektrlar sulfonat guruhining assimetrik cho'zilish tebranishlariga $\nu_{\text{as}}(\text{SO}_3^-)$, 1240-1200 cm^{-1} sohadagi spektrlar esa sulfonat guruhining simmetrik cho'zilish tebranishlariga $\nu_{\text{s}}(\text{SO}_3^-)$ mos keladi. Ushbu spektral xususiyatlar disulfonlangan aromatik tizim mavjudligini tasdiqlaydi.

Tekshirilayotgan 4AGPASS reagenti bilan Fe(III) va Cu(II) ionlari hosil qilgan kompleks birikmalarini IQ-spektroskopik tahlil natijalari 2-jadvalda keltirildi.

Sintez qilingan 4AGPASS azo reaktivining IQ spektrida 1651 cm^{-1} da kuzatilgan intensiv yutilish spektri azo bog'ining $\nu(\text{N}=\text{N})$ cho'zilish tebranishiga tegishli bo'lib, bu azo qo'shilish reaksiyasi natijasida yangi kon'yugatsiyalangan azo tizim hosil bo'lganligini ko'rsatadi. 3445 cm^{-1} da qayd etilgan keng spektrlar fenolik gidroksil guruhining $\nu(\text{O}-\text{H})$ tebranishiga mos keladi. 1338 cm^{-1} da kuzatilgan yutilish spektri sulfonat guruhining assimetrik cho'zilish tebranishiga $\nu_{\text{as}}(\text{SO}_3^-)$, 1165 cm^{-1} dagi spektrlar esa sulfonat guruhining simmetrik cho'zilish tebranishlariga $\nu_{\text{s}}(\text{SO}_3^-)$ tegishlidir. Ushbu spektrlar sulfonat funksional guruhlarning saqlanib qolganligini ko'rsatadi.

Shunday qilib, IQ spektral tahlil natijalari amin funksional guruhining diazoniyl guruhga aylanishi hamda keyingi azo qo'shilish reaksiyasi natijasida kon'yugatsiyalangan azo tizim hosil bo'lganligini aniq tasdiqlaydi. Bundan tashqari, fenolik gidroksil va sulfonat funksional guruhlarning spektrda saqlanib qolishi yangi sintez qilingan 4AGPASS birikmasining taklif etilgan molekulyar tuzilishi bilan to'liq mos keladi. Qolgan funksional guruhlarning barcha komplekslarning IQ-spektrlari uchun deyarli bir xil bo'lib qoldi. IQ-spektroskopik tahlil natijalari, komponentlarning molyar nisbatlari hamda kvant-kimyoviy hisoblashlar asosida quyidagi xulosaga kelish mumkin: $2[\text{HR}]^{2-} + \text{M}^{n+} \rightarrow [\text{MR}_2]^{2-} + 2\text{H}^+$.



4AGPASS reagenti yordamida temir(III) va mis(II) ionlari hosil qilgan komplekslarning analitik qo'llanishida metall ionlari miqdorini aniqlash uchun spektrofotometrik usulda o'lchanadigan "Y" kattalik, ya'ni optik zichlik "A" ning aniqlanayotgan modda miqdori "Xi" ga bog'liqlik grafigidan foydalanildi.

To'g'ri chiziq tenglamasi Fe(III) uchun $Y_i = 0,0180 + 0,0053 \cdot X_i$ va Cu(II) uchun $Y_i = 0,0159 + 0,0452 \cdot X_i$ ga teng bo'ldi.

Reagentning eng muhim ko'rsatkichlaridan biri bo'lgan uning analitik qo'llanish imkoniyati hamda metodning tanlab ta'sir etuvchanligini aniqlash maqsadida begona ionlarning Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashga ta'siri o'rganildi. Aniqlash jarayoni umumiy metodika asosida optimal sharoitlarda olib borildi.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijalari azo tipidagi 4AGPASS reagent yordamida Fe^{3+} va Cu^{2+} ionlarini spektrofotometrik aniqlashning selektivligini baholash imkonini berdi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, Fe^{3+} ionlarini aniqlash uchun optimal sharoit $\text{pH}=5,0$ bo'lgan atsetat bufer muhitida hosil qilindi. Bu sharoitda Fe^{3+} ionlari gidrolizlanmasdan barqaror holatda saqlanadi va azo reagent bilan intensiv rangli xelat kompleks hosil qiladi ($\lambda_{\text{max}} = 590\text{ nm}$). Tadqiqot natijalariga ko'ra Na^+ , K^+ , (1:1000), NH_4^+ (1:500), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Co^{3+} (1:100); Cd^{2+} (1:40); nisbatlari va anionlarning NO_2^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , ClO_4^- , (1:100) nisbatlari xalaqit bermaydi. Kationlarning Cr^{3+} , Th^{4+} , Pb^{2+} (1:30), Tl^{3+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} , Ce^{3+} (1:20), Zn^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} (1:10), Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} (1:5) nisbatlari va

anionlarning EDTA^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (1:5); $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , F^- (1:0,5) nisbatlari xalaqit beradi.

Ushbu ionlarning ta'sirini kamaytirish uchun $\text{Ni}^{2+}:\text{CN}^- = 1:6$, $\text{Co}^{2+}:\text{CN}^- = 1:6$, $\text{Cu}^{2+}:\text{NH}_3 = 1:4$ ionlari bilan niqoblendi. Natijada xalaqit beruvchi ionlar eritmada barqaror kompleks shakliga o'tib, azo reagent bilan reaksiyaga kirishmaydi.

Cu^{2+} ionlarini spektrofotometrik aniqlash esa $\text{pH} = 2,34$ bo'lgan universal bufer muhitida amalga oshiriladi. Ushbu kislotali muhitda Cu^{2+} ionlari azo reagent bilan barqaror rangli kompleks hosil qiladi va kompleks ko'rinadigan spektr sohasida intensiv yutilish maksimumi bilan tavsiflanadi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, Na^+ , K^+ , (1:1000), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Co^{3+} (1:100), Th^{4+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} (1:40), Hg^{2+} , Sn^{2+} (1:20), nisbatlari va anionlarning F^- , NO_2^- , Cl^- , Br^- , CN^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} (1:100) nisbatlari xalaqit bermaydi. Kationlarning Cr^{3+} (1:30), Fe^{2+} , Pb^{2+} , Ce^{3+} (1:20), Mn^{2+} , Sb^{3+} , Tl^{3+} (1:10); Ni^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} (1:3), nisbatlari va anionlarning $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (1:10), EDTA^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ (1:0,5) nisbatlari xalaqit beradi. Shu sababli ular kuchli kompleks hosil qiluvchi reagentlar yordamida niqoblendi: Fe^{3+} ionlari F^- bilan (1:6), Co^{2+} ionlari H_2O_2 bilan (1:2), Ni^{2+} ionlari CN^- bilan (1:6) xalaqit berishi aniqlandi va niqoblendi.

Shunday qilib, xalaqit beruvchi ionlarni mos kompleks hosil qiluvchi reagentlar yordamida niqoblash hamda eritma muhitining optimal pH qiymatini tanlash orqali Fe^{3+} va Cu^{2+} ionlarini azo reagent yordamida yuqori selektivlik va aniqlik bilan spektrofotometrik aniqlash imkoniyati yaratildi.

Dissertatsiyaning **“Fe(III) va Cu(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlash bo'yicha ishlab chiqilgan usullarni amaliy qo'llash”** deb nomlangan to'rtinchi bobida Fe(III) va Cu(II) ionlarini 4AGPASS eritmasi bilan spektrofotometrik aniqlash masalasi yoritilgan. Ishlab chiqilgan spektrofotometrik metodikalar va olingan tajriba natijalari jahon adabiyotlarida ma'lum bo'lgan matematik statistikaning amaldagi qoidalari va usullari asosida qayta ishlangan.

Ishlab chiqilgan metodikani sun'iy aralashmalar, tabiiy va sanoat obyektlari (tabiiy suvlar, qotishmalar, minerallar, rudalar) hamda boshqa real tabiiy obyektlar oziq-oqat mahsulotlari, qon, jigar va sanoat materiallari analizida qo'llash mumkin.

Fe(III) va Cu(II) ionlarini 4AGPASS bilan ishlab chiqilgan metodika yuqorida keltirilgan metodika asosida niqoblovchi moddalar: Fe(III) ionlari uchun niqoblashda: $\text{Ni}^{2+}:\text{CN}^- = 1:6$, $\text{Co}^{2+}:\text{CN}^- = 1:6$, $\text{Cu}^{2+}:\text{NH}_3 = 1:4$ nisbatlarda kompleks hosil qilish orqali; Cu(II) ionlari uchun Fe^{3+} ionlari F^- bilan (1:6), Co^{2+} ionlari H_2O_2 bilan (1:2), Ni^{2+} ionlari CN^- (1:6) xalaqit berishi aniqlandi va niqoblendi.

Olingan amaliy natijalar Fe(III) va Cu(II) ionlarini tabiati va miqdori turlicha bo'lgan, alohida holda uchraganda xalaqit bermaydigan hamda birga uchraydigan metall ionlari ishtirokida tabiiy obyektlar va sanoat materiallari tarkibida, shuningdek xalaqit beruvchi ionlar mavjud sharoitda aniqlash imkoniyatini yaratdi. Murakkab sun'iy aralashmalarni tayyorlashda Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashga xalaqit beruvchi ionlar asos qilib olindi. Olingan natijalarga ko'ra, Fe(III) va Cu(II) ionlarini real obyektlar tarkibiga mos bo'lgan sun'iy aralashmalar tarkibidan spektrofotometrik usulda aniqlash mumkinligi isbotlandi. Ishlab chiqilgan metodikada nisbiy standart chetlanish (Sr) qiymati Fe(III) uchun 0,0053 va Cu(II) uchun 0,0117 dan oshmasligi metodikaning ishonchliligi va to'g'riligini ko'rsatadi.

Ishlab chiqilgan temir(III) va mis(II) ionlarini (4AGPASS) bilan sezgir va tanlab ta'sir etuvchan aniqlash metodi sanoat qotishmalarining standart namunalari

(A 203-1, A 203-5, M115-1, va M 123-1) analiziga qo‘llanildi. Olingan natijalar va ularning matematik qayta ishlash hisoblashlari 3-jadvalda keltirilgan.

Alyuminiy va mis asosidagi standart sanoat namunalarining analizi natijalari (3-jadval) dan ko‘rinib turibdiki, Fe(III) va Cu(II) ionlarini 4AGPASS azoreagenti bilan spektrofotometrik aniqlash metodi, o‘zining quyi aniqlanish chegarasi, yuqori sezgirliigi, tanlab ta’sir etuvchanligi va Sr qiymati 0,045 dan oshmaganligi bilan ijobiy tavsiflanadi.

3-jadval

Fe(III) va Cu(II) ionlarini standart sanoat qotishmalari tarkibidan spektrofotometrik aniqlash natijalari

Namun. nomi., Me, %	V _{nam} , sm ³	Alikvot M ⁿ⁺ miqdori, mkg	\bar{A}	Topildi M ⁿ⁺ , mkg, $\bar{X} \pm \Delta X$	S	S _r
<i>Fe(III) ionini aniqlash (V_{HR}=1,0 sm³; λ_{max}=590 nm; pH=5,0; n=3; P=0,95; t_{pk}=4,303)</i>						
M115-1 (N9, NX98)	1,0	5,0	0,045	5,09±0,46	0,185	0,036
	2,0	10,0	0,072	10,13±0,27	0,109	0,010
	3,0	15,0	0,098	15,03±0,30	0,103	0,0069
AK12MK 203-5	2,2	5,28	0,046	5,28±0,47	0,19	0,035
	6,0	14,4	0,095	14,45±0,30	0,103	0,0072
	10,0	24,0	0,146	24,09±0,10	0,044	0,002
<i>Cu(II) ionini aniqlash (V_{HR}=1,2 sm³; λ_{max}=600 nm; pH=2,30; n=3; t_{pk}=4,303)</i>						
AK12MK 203-1	1	3,30	0,165	3,29±0,05	0,021	0,006
	1,5	4,95	0,240	4,96±0,02	0,101	0,0013
	1,8	5,94	0,284	5,93±0,20	0,0815	0,0137
AK12MK 203-5	2,0	3,0	0,151	2,98±0,06	0,023	0,008
	3,0	4,5	0,217	4,45±0,05	0,020	0,004
	3,5	5,25	0,254	5,26±0,22	0,090	0,017
M 123-1	0,2	1,64	0,090	1,65±0,16	0,065	0,039
	0,4	3,28	0,165	3,30±0,12	0,047	0,014
	0,6	4,92	0,239	4,93±0,25	0,100	0,020

Fe(III) va Cu(II) ionlarini individual va murakkab aralashmalar hamda real obyektlarda to‘g‘ridan-to‘g‘ri spektrofotometrik aniqlashning sharoitlarini optimallashtirish bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar asosida Toshkent viloyati Parkent tumanining Chotqol tog‘ tizmasida joylashgan tabiiy buloq suvi tarkibidan Fe(III) va Cu(II) ni aniqlandi.

Namunalarni analiz qilish uslubi: Toshkent viloyatida Chotqol tog‘ tizmasida joylashgan tabiiy buloqlaridan olingan hajmi 1,0 dm³ bo‘lgan namunani 1000 sm³ li issiqqa chidamli stakanga solindi, ustiga 10-12 sm³ 1,0 n li HNO₃ eritmasi solib, aralashmani qum hammomida qizdirildi, eritmani nam tuz holigacha bug‘latildi. Cho‘kmani 10 sm³ bidistillangan suvda eritildi va 100 sm³ li stakanga filtrlab olinadi.

So‘ngra eritmani 25,0 sm³ li o‘lchov kolbalariga miqdoran o‘tkazildi, ustiga 5,0-10,0 mkg miqdordagi temir(III) eritmalari, 1,0-2,0 mkg miqdordagi mis(II) eritmalari, uslublarning tanlab ta’sir etuvchanligini yaxshilash maqsadida foydalanildi. Masalan, niqoblashda: Ni²⁺:CN⁻=1:6, Co²⁺:CN⁻=1:6, Cu²⁺:NH₃=1:4 nisbatlarda kompleks hosil qilish orqali; Cu(II) ionlari uchun Fe³⁺ ionlari F⁻ bilan (1:6), Co²⁺ ionlari H₂O₂ bilan (1:2), Ni²⁺ ionlari CN⁻ (1:6) xalaqit berishi aniqlandi

va niqoblanadi. Mis va temir ionlarini aniqlashda begona ionlarni bog'lovchi agentlari solindi, 5,0 sm³ atsetatli bufer va universal bufer aralashmasi va 1,0 sm³ hamda 1,20 sm³ 1,081·10⁻³ M 4AGPASS eritmasi solinib, idishning chizig'igacha bidistillangan suv bilan to'ldirildi va aralashtirildi. Eritmalarning OZ ni KFK-3 bilan λ=590 nm va λ=600 nm da, qalinligi ℓ=3,0 sm bo'lgan kyuvetada solishtirma eritmaga nisbatan o'lchandi. Natijalar 4-jadvalda keltirildi.

4-jadval

Tabiiy buloq suvidan Fe(III) va Cu(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlash natijalari (V_{suv} = 1,0 dm³)

№	Kiritilgan M ⁿ⁺ , miqdori, mkg	Olingan nam. alikvot, M ⁿ⁺ miqdori, mkg	\bar{A}	Topilgan M ⁿ⁺ miqdori, mkg, $\bar{X} \pm \Delta X$	Na'munada topilgan M ⁿ⁺ miqdori, mkg	S	S _r
Fe(III) ionini aniqlash (V _{HR} = 1,0 sm ³ ; λ _{max} = 590 nm; pH = 5,0; n = 5; P = 0,95; t _{pk} = 2,78)							
1	-	11,75	0,080	11,75 ± 0,02	11,75	0,159	0,014
2	1,00	12,75	0,086	12,75 ± 0,20	11,75	0,166	0,013
3	2,00	13,77	0,091	13,77 ± 0,29	11,77	0,232	0,017
Cu(II) ionini aniqlash (V _{HR} = 1,2 sm ³ ; λ _{max} = 600 nm; pH = 2,30; n = 5; t _{pk} = 2,78;)							
1	-	2,92	0,148	2,92 ± 0,07	2,92	0,046	0,016
2	0,50	3,43	0,171	3,43 ± 0,05	2,93	0,059	0,017
3	1,00	3,95	0,194	3,95 ± 0,07	2,95	0,054	0,014

Tabiiy buloq suvlar analizi (4-jadval) natijalariga ko'ra Fe(III) va Cu(II) ionlarini 4AGPASS ning bilan spektrofotometrik aniqlash metodikasi, topilgan optimal sharoitlarda o'zining to'g'riligi, ishonchliligi, tanlab ta'sir etuvchanligi, quyi aniqlanish chegarasi va S_r ning 0,045 dan oshmasligi bilan tavsiflanadi. Shunga asosan Fe(III) va Cu(II) ionlarini tabiiy buloq suvlari tarkibidan "Kiritildi-topildi" usuli bilan spektrofotometrik aniqlash tadqiqoti amalga oshirildi.

Olingan optimal sharoitlar asosida ishlab chiqilgan uslublar Toshkent viloyatining Angren, Parkent, Chirchiq va Olmaliq sharlarining oqova suvlar tarkibiga Fe(III) va mis(II) ionlarini aniqlashga sinab ko'rildi (5-jadval).

Namunalarni analiz qilish uslubi: 200 sm³ miqdordagi oqova suvlar yig'ib olinib, unga 1,0 sm³ (1,5 sm³) Fe(III) standart (5,0 mkg/sm³ li) eritmasi, 1,0 sm³ (2,0 va 3,0 sm³) Cu(II) ning standart (1,0 mkg/sm³ li) eritmasi solinib, eritmani nam tuz holigacha bug'latildi, so'ngra tuz 10,0 sm³ distillangan suv bilan eritilib So'ngra eritmani 25,0 sm³ li o'lchov kolbalariga miqdoran o'tkazildi, ustiga 1,0 sm³ miqdordagi temir(III) standart eritmaları, 1,0 sm³ miqdordagi mis(II) standart eritmaları, uslubning tanlab ta'sir etuvchanligini yaxshilash maqsadida, Fe(III) ionlari uchun Ni²⁺:CN⁻=1:6, Co²⁺:CN⁻ =1:6, Cu²⁺:NH₃=1:4 nibatlarda kompleks hosil qilish orqali; Cu(II) ionlari uchun Fe³⁺ ionlari F⁻ bilan (1:6), Co²⁺ ionlari H₂O₂ bilan (1:2), Ni²⁺ ionlari CN⁻ bilan (1:6) xalaqit berishi aniqlandi va niqoblandi. Temir va mis ionlarini aniqlashda begona ionlarni bog'lovchi agentlari solindi, 5,0 sm³ atsetatli bufer (pH=5,0) va universal bufer(pH=2,34) aralashmasi va 1,0 sm³ hamda 1,20 sm³ 1,086·10⁻³ M 4AGPASS eritmasi solinib, idishning chizig'igacha bidistillangan suv bilan to'ldirildi va aralashtirildi. Eritmalarning OZ ni KFK-3 bilan λ=590 nm va λ=600 nm da, qalinligi ℓ=3,0 sm bo'lgan kyuvetada solishtirma eritmaga nisbatan o'lchandi (5-jadval).

Olingan natijalar (5-jadval) asosida xulosa qilish mumkinki, ishlab chiqilgan spektrofotometrik uslublar va oqova suv analizi natijalari o‘zining tanlab ta’sir etuvchanligi hamda tezkorligi bilan tavsiflanadi.

5-jadval

Oqova suvlar tarkibidadan Fe(III) va mis(II) ionlarini aniqlash natijalari

№	Nazorat eritmasi yoki hudud nomi	Kiritilgan M^{n+} , mkg	Olingan alikvot hajmi, V_{nam} , ml	$A_{o'rt}$	Topilgan M^{n+} , mkg/sm ³ $\bar{X}_i \pm \Delta X$	Nam. M^{n+} , mkg	S	S_r
Fe(III) ionlari ($C_{HR}=0,05\%$; $V_{HR}=1,0\text{ sm}^3$; $\lambda=590\text{ nm}$, pH=5,0; n=5; P=0,95; $t_{pk}=2,78$)								
1	Angren	5,0	5,0	0,060	7,92±0,41	2,92	0,329	0,041
2	Parkent	5,0	5,0	0,062	8,34±0,44	3,34	0,354	0,042
3	Chirchiq	5,0	5,0	0,067	9,32±0,16	4,36	0,166	0,018
4	Olmalik	5,0	5,0	0,070	9,81±0,19	4,69	0,370	0,037
Cu(II) ionlari ($C_{HR}=0,05\%$; $V_{HR}=1,2\text{ sm}^3$; $\lambda=600\text{ nm}$, pH=2,30; n=5; P=0,95; $t_{pk}=2,78$)								
1	Angren	1,0	5,0	0,163	3,25±0,04	2,25	0,035	0,011
2	Parkent	1,0	5,0	0,162	3,24±0,04	2,24	0,046	0,010
3	Chirchiq	1,0	5,0	0,180	3,62±0,16	2,62	0,126	0,035
4	Olmalik	1,0	5,0	0,188	3,82±0,08	2,82	0,061	0,016

Olingan optimal sharoitlar asosida mayiz tarkibidan Fe(III) ionlarini va qo‘ziqorin tarkibidan Cu(II) ionlari aniqlandi.

Namunalarni analiz qilish uslubi: Mayiz tarkibidan Fe(III) ionlarini va qo‘ziqorin tarkibidan Cu(II) ionlarini aniqlash uchun namunalardan 5 g ($\pm 0,0001$ g aniqlikda) dan tortib olinib, 10 sm³ 65% HNO₃ ishtirokida nam mineralizatsiya qilindi. Zarurat bo‘lganda 30% H₂O₂ 5,0 sm³ qo‘shilib, organik moddalarning to‘liq oksidlanishi ta’minlandi. Eritmalar tiniqlashgach sovutilib, 50 yoki 100 sm³ o‘lchov

kolbasiga o‘tkazilib, distillangan suv bilan belgigacha yetkazildi. Natijada Fe(III) va Cu(II) ionlarining saqlaychi ishchi eritmalar olindi.

Shundan so‘ng 25 sm³ li o‘lchov kolbalariga tegishli hajmda namuna eritmasi olindi va aniqlash uchun quyidagi sharoitlar yaratildi. Fe(III) ionlari uchun 1,0 sm³ 0,05% 4AGPASS eritmasi va 5,0 sm³ pH=5,0 ga teng bo‘lgan atsetatli bufer qo‘shildi. Begona ionlar ta’sirini Fe(III) ionlari uchun niqoblashda: Ni²⁺:CN⁻=1:6, Co²⁺:CN⁻=1:6, Cu²⁺:NH₃=1:4 nisbatlarda kompleks hosil qilish orqali; Cu(II) ionlari uchun Fe³⁺ ionlari F⁻ bilan (1:6), Co²⁺ ionlari H₂O₂ bilan (1:2), Ni²⁺ ionlari CN⁻ bilan (1:6) xalaqit berishi aniqlandi va niqoblandi. Mis va temir ionlarini aniqlashda begona ionlarni bog‘lash uchun qo‘shib, har ikkala holatda eritma hajmi distillangan suv bilan belgisigacha yetkazilib aralashtirildi. Hosil bo‘lgan rangli komplekslarning optik zichligi Fe(III) uchun $\lambda=590\text{ nm}$, Cu(II) uchun $\lambda=600\text{ nm}$ to‘liq uzunliklarda, $\ell=3,0\text{ sm}$ kyuvetalarda solishtirma eritmaga nisbatan o‘lchandi (6-jadval).

6-jadval ma’lumotlariga ko‘ra, standart qo‘shimcha usuli yordamida mayiz va qo‘ziqorin namunalarda Fe(III) va Cu(II) ionlari muvaffaqiyatli aniqlandi. Fe(III) uchun 5,0 sm³ namunada 5,30 mkg, Cu(II) uchun esa 2,02 mkg natijalar olindi. Past nisbiy standart chetlanish qiymatlari usulning yuqori takrorlanuvchanligini ko‘rsatdi. Natijalar 4AGPASS asosidagi spektrofotometrik uslublarning ishonchli va amaliy qo‘llashga yaroqli ekanligini tasdiqlaydi.

6-jadval

O'simlik mahsulotlari tarkibidan Fe(III) va Cu(II) ionlarini spektrofotometrik aniqlash natijalari ($m_{\text{nam.}}=0,1000 \text{ g}$, $n=5$)

№	Mahsulot	Olingan alikvot M^{n+} , mkg	Alikvot hajm V , sm^3	\bar{A}	Topilgan M^{n+} , mkg	$\bar{X} \pm \Delta X$	Namunadagi topilgan M^{n+} , mkg	S_r
($\lambda_{\text{Fe}^{3+}}=590$; $V_{\text{HR}}=1,0 \text{ sm}^3$; $\text{pH}=5,0$; $n=5$; $P=0,95$ $t_{\text{pk}}=2,78$)								
1	Mayiz	5,0	5,0	0,073	10,30	$10,30 \pm 0,59$	5,30	0,045
($\lambda_{\text{Cu}^{2+}}=600 \text{ nm}$; $V_{\text{HR}}=1,2 \text{ sm}^3$; $\text{pH}=2,30$; $n=5$; $P=0,95$; $t_{\text{pk}}=2,78$)								
2	Qo'ziqorin	2,0	5,0	0,197	4,02	$4,02 \pm 0,09$	2,02	0,018

Biologik obyektlarda Fe(III) va Cu(II) ionlarini fotometrik aniqlash. Tadqiqotni bajarish uchun biologik obyekt sifatida Toshkent viloyati, Parkent tumani, Qizil tog' fermer xo'jaligi birlashmasidan chorva mollarining jigari va qoni tanlab olindi.

Namunalarni analiz qilish uslubi: Jigar va qon namunalari mos ravishda 30 g va 80,0 sm^3 olinib, 80-90⁰C da quritilib quruq qoldiq holigacha bug'latildi. So'ngra namunalar konsentrlangan 12,0 sm^3 HNO₃ va 30% H₂O₂ 5,0 sm^3 ishtirokida oksidlanib, quruq tuz holigacha bug'latildi va 850–900⁰C da mufel pechda kulga aylantirildi. Hosil bo'lgan kul 5,0 sm^3 (1:1) HCl eritmasida eritilib, 50 sm^3 li o'lchov kolbasiga o'tkazildi va bidistillangan suv bilan belgigacha yetkazildi. Olingan eritmadan 25,0 sm^3 li o'lchov kolbalariga alikvot olinib, standart qo'shimcha qo'shish usuli asosida Fe(III) (5,0 mkg) va Cu(II) (1,0 mkg) miqdorda qo'shildi. Metodning selektivligini oshirish uchun begona ionlar Fe(III) ionlari uchun niqoblashda: Ni²⁺:CN⁻=1:6, Co²⁺:CN⁻=1:6, Cu²⁺:NH₃⁻=1:4 nisbatlarda kompleks hosil qilish orqali; Cu(II) ionlari uchun Fe³⁺ ionlari F⁻ bilan (1:6), Co²⁺ ionlari H₂O₂ bilan (1:2), Ni²⁺ ionlari CN⁻=(1:6) bilan xalaqit berishi aniqlandi va niqoblandi. Mis va temir ionlarini aniqlashda begona ionlarni bog'lash uchun qo'shildi. Shundan so'ng eritmaga 5,0 sm^3 atsetatli (pH=5,0) va universal (pH=2,34) bufer aralashmasi hamda mos ravishda 1,0 sm^3 va 1,20 sm^3 4AGPASS ($1,086 \cdot 10^{-3} \text{ M}$) eritmasi qo'shib, hajm distillangan suv bilan belgigacha yetkazildi va aralashtirildi. Hosil bo'lgan komplekslarning optik zichligi KFK-3 da $\lambda=590 \text{ nm}$ (Fe) va $\lambda=600 \text{ nm}$ (Cu) da, $l=3,0 \text{ sm}$ kyuvetada solishtirma eritmaga nisbatan o'lchandi (7-jadval).

7-jadval

Biologik obyektlar tarkibidan Fe(III) va Cu(II) ni spektrofotometrik aniqlash

№	Aniqlanadigan element	Kiritilgan. M^{n+} , mkg	Alikvotdagi hajm V , sm^3	\bar{A}	Topilgan M^{n+} , mkg, $\bar{X} \pm \Delta X$	Namunadan topilgan M^{n+} , mkg	S_r
Mol jigari							
1	Mis	1,0	5,0	0,238	$4,91 \pm 0,05$	3,91	0,007
2	Temir	5,0	5,0	0,162	$27,16 \pm 0,40$	22,16	0,012
Mol qoni							
1	Temir	5,0	5,0	0,056	$7,20 \pm 0,19$	2,20	0,021
2	Mis	1,0	5,0	0,105	$1,972 \pm 0,05$	0,97	0,020

Shunday qilib, bajarilgan tadqiqotlar (3-7 jadvallar), tanlangan optimal sharoitlar natijasida ishlab chiqilgan spektrofotometrik aniqlash metodikasi Fe(III) va Cu(II) ionlarini aniqlashda S_r barcha holatlarda 0,045 dan oshmasligi, aniqlangan ionlarning miqdorlari ishonchlilik ehtimolligi chegarasidan

chiqmasligi, natijalarning to'g'riligi va qayta takrorlanuvchanligi, tanlab ta'sir etuvchanligi hamda quyi aniqlanish chegarasi bilan dolzarb hisoblanadi hamda real obyektlar analizida qo'llash tavsiya etildi.

XULOSALAR

1. 4AGPASS reagenti 99,48 % unum bilan sintez qilinib, qayta kristallash orqali tozalandi. Suyuqlanish harorati 391–393⁰C da barqaror takrorlanishi uning individual va toza birikma ekanligini tasdiqladi. Cu(II) va Fe(III) bilan hosil bo'lgan komplekslarda suyuqlanish haroratining mos ravishda 420⁰C va 421,5⁰C gacha ortishi koordinatsion bog'lanish natijasida barqaror komplekslar shakllanganligini ko'rsatdi. 4AGPASS uchun $\varepsilon=3100$, $K_{diss.}=8,9 \cdot 10^{-8}$ ($pK=7,05$) qiymatlari aniqlangan.

2. Fe(III) va Cu(II) ionlarini 4AGPASS bilan spektrofotometrik aniqlashning optimal sharoitlari belgilandi. Maksimal yutilishlar 4AGPASS uchun $pH=2,30$ da $\lambda=500$ nm ($pH=5,0$ da 525 nm), Cu(II)–(HR) uchun $\lambda=600$ nm va Fe(III)–(HR) uchun $\lambda=590$ nm da kuzatildi. $\Delta\lambda=65-100$ nm spektral siljish yuqori sezgirlikni ta'minladi. Optimal muhit: Fe(III)– $pH=5,0$ (atsetatli bufer), Cu(II)– $pH=2,30$ (universal bufer). Komplekslarning stixiometriyasi Cu(II):(HR)=1:2 va Fe(III):(HR) =1:3 nisbatda tasdiqlandi. Buger–Lambert–Ber qonuniga bo'ysunish sohasi 25,0 sm^3 eritmada Fe(III) uchun 5,0–35,0 mkg, Cu(II) uchun 1,0–6,0 mkg oralig'ida aniqlangan.

3. Komplekslarning analitik tavsiflari ilk bor aniqlandi: $lg\beta(Cu)=16,41$; $lg\beta(Fe)=17,94$. Tolmachyov usuli bo'yicha $\varepsilon_{haq}(Cu)=14286$ va $\varepsilon_{haq}(Fe)=52631$ bo'lib, Fe(III)–HR kompleksi yuqori optik faollikka egaligi ko'rsatildi. Sendel bo'yicha sezgirligi Fe(III) uchun 0,0086 mkg/ sm^2 , Cu(II) uchun 0,0064 mkg/ sm^2 ni tashkil etdi. Komplekslar 130–90 daqiqa davomida barqaror ekanligi ishlab chiqilgan.

4. Regressiya tenglamalari: Cu(II): $Y_i=0,0159+0,0452 \cdot X_i$; Fe(III): $Y_i=0,0180+0,0053 \cdot X_i$. Aniqlashning quyi chegaralari (LOD): Fe(III) $Q_{min}=0,0536$ mkg/ sm^3 ; Cu(II) $Q_{min}=0,226$ mkg/ sm^3 . Miqdoriy aniqlash chegaralari (LOQ, 10σ mezoni bo'yicha): Fe(III) – 0,279 mkg/ sm^3 ; Cu(II) – 0,107 mkg/ sm^3 . Nisbiy standart chetlanish qiymatlari Cu(II) $\leq 0,012$; Fe(III) $\leq 0,0060$ bo'lib, usullarning yuqori takrorlanuvchanligi va statistik ishonchliligi tasdiqlangan.

5. Kvant–kimyoviy hisoblashlar (Gaussian) hamda IQ, Raman va ¹H, ¹³C–YMR spektrlari fenoldagi kislorod, azo va piridindagi azot atomlari asosiy donor markazlar ekanligini, M–O va M–N koordinatsion bog'lar hosil bo'lishini tasdiqladi. Ion–almashinish tajribalari komplekslarning anion tabiatga egaligini ko'rsatdi.

6. Ishlab chiqilgan spektrofotometrik metodikalar sun'iy aralashmalar, sanoat qotishmalari, polimetall rudalar, tabiiy va oqova suvlar hamda biologik obyektlarda muvaffaqiyatli qo'llanildi. Qayta tiklanish darajasi 98,9–101,3 % oralig'ida, nisbiy standart chetlanish qiymatlari $S_r=0,045-0,035$ bo'lib, usullarning yuqori aniqligi va amaliy qo'llashga yaroqliligi tasdiqlandi. Ishlab chiqilgan uslublar "Maxam-Uzbekistan" MCHJ O'zbekiston-Ispaniya qo'shma korxonasi va "Metal procesing technology" MCHJ korxonasi laboratoriyalarida joriy etilgan real obyektlar analizlariga qo'llash uchun tavsiya etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ DSc.03/2025.27.12.K.01.13.M
ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

ТУЛИЕВ БЕХРУЗ АЛИМКУЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА(III) И МЕДИ(II)**

02.00.02-Аналитическая химия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Академии наук Республики Узбекистан под номером В2025.2.PhD/К976.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета www.ik-kimyo.nuuuz.uz и Информационно-образовательном портале "ZiyoNET" по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель: Турабов Нурмухаммат Турабович
кандидат химических наук, профессор

Официальные оппоненты: Абдурахмонов Эргашбой
доктор химических наук, профессор
Ашуров Мансур Аллавазарович
доктор философии (PhD) по химическим наукам, старший научный сотрудник

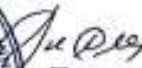
Ведущая организация: Ташкентский химико-технологический институт


Защита диссертации состоится 21 07 2026 г. в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.K.01.13.M при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, Ташкент, ул. Университетская 4. Тел.: (99871) 246-07-88, факс: (+99824) 246-02-24. E-mail: ilmiy_kengash@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирована за № 152). Адрес: 100174, Ташкент, ул. Университетская 4. Тел.: (+99871) 246-07-88, 277-12-24; факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24; e-mail: ilmiy_kengash@nuu.uz

Автореферат диссертации разослан 10 07 2026 г.
(реестр протокола рассылки № 16 08 07 2026 г.)



 Холиков Т.С.
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.х.н., профессор

 Рузметов У.У.
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.х.н., доцент

 Сманова З.А.
Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире с загрязнение окружающей среды, продуктами питания, объектами производства техники и медицины, различными продуктами, промышленными отходами и ионами тяжелых и токсичных металлов вызывают серьезные экологические проблемы социально-экономического значения, предотвращение их возникновения является одной из основных задач. Для этого ведется большая работа по рациональному использованию ионов тяжелых и токсичных металлов в промышленности, а также разработке и освоению новых экспрессных, дешевых и селективных методов их микроколичественного определения. На основе реализуемых программных мероприятий большое практическое значение имеет разработка методов количественного определения ионов Fe(III) и Cu(II) в составе природных вод, руд и промышленных отходов.

Во всем мире ведущими учеными проводятся научные исследования по определению ионов тяжелых и токсичных металлов в составе природных и сточных вод методами спектрофотометрического определения и их извлечению из промышленных отходов, разработке избирательных и высокочувствительных методов определения их состава, в том числе, особое внимание уделяется повышению высокой чувствительности, селективности и экспрессности при определении ионов Fe(III) и Cu(II) применением органических аналитических реагентов, содержащих новые комплексообразующие функционально-аналитические группы.

В нашей стране за годы независимости в химической промышленности были достигнуты определенные результаты, в частности, проведены широкомасштабные практические мероприятия по обеспечению местного рынка импорт замещаемыми химическими реагентами. Следует отметить, что в Республике уделяется большое внимание мероприятиям по системе научно обоснованного ведения промышленных объектов и охраны окружающей среды через внедрение инновационных технологий. В Стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан¹ намечены задачи по «Совершенствованию промышленности на качественно новый уровень, дальнейшей интенсификации производства готовой продукции на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов, освоению выпуска принципиально новых видов продукции и технологий». Ввиду широкого применения в нашей Республике таких тяжелых и токсичных металлов как, железа и медь в химической промышленности, авиации, медицине, народном хозяйстве, разработка современных, более надежных, экспрессных и экономически дешёвых методов их определения имеет особое значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени направлено на выполнение задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан УП-60 от 22 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» и Постановлении Президента

¹Указ Президента Республики Узбекистан за № УП-60 от 22 января 2022 года « О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы».

Республики Узбекистан ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности химической промышленности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики. Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением VII «Химические технологии и нанотехнологии» развития науки и технологий Республики Узбекистан.

Степень изученности проблемы. Определением ионов Fe(III) и Cu(II) в различных искусственных смесях, стандартных образцах промышленных сплавов, природных и сточных водах, пищевых продуктах и биологических объектах занимались многие зарубежные ученые во всем мире и данное направление по-прежнему сохраняет важное научно-практическое значение. Разработанные ими физико-химические методы определения микроколичеств этих ионов тяжелых металлов характеризуются сложным аппаратным оформлением и высокими экономическими затратами. В связи с этим особое внимание уделяется разработке новых спектрофотометрических методов определения ионов тяжелых металлов в объектах окружающей среды, отличающиеся высокой чувствительностью, селективностью, простотой выполнения и экономической доступностью.

В данном направлении особого внимания заслуживают работы наиболее цитируемых ученых, активно ведущих исследования. В частности, зарубежными учеными - Мустафой Сойлаком (Турция), Али Шокроллахи, Мехди Гаэди, Алирезой Афхами, Тайебех Мадракиан (Иран), Робертом Г. Парром (США), Кеничи Фукуи (Япония), Приско Прете (Италия), Кристофом Яниаком (Германия), Мустафой Хамидом Атияхом (Ирак) и другими исследователями - были развиты теоретические и практические основы спектрофотометрического определения ионов металлов.

Учёные стран СНГ - Керим А. Кулиев, Фарман М. Чирагов, Али З. Залов, Н. А. Вердизаде (Азербайджан), А. И. Бусев, Ю. Ю. Лурье, Б. Н. Тарасевич, А. В. Булатов (Российская Федерация) и другие исследователи внесли значительный вклад в развитие экстракционно-фотометрических и спектрофотометрических методов анализа.

К числу этих учёных относятся и современные узбекские исследователи. В частности, Ш. Т. Толипов является основателем научной школы аналитиков-химиков в Республике и Центральной Азии, а его научная деятельность была посвящена развитию оптических и электрохимических методов анализа, в том числе фотометрических, спектрофотометрических, комплексонометрических, инверсионно-вольтамперометрических и амперометрических методов титрования. Развитие данного направления в Узбекистане непосредственно связано с исследованиями А.К.Жданова, В.А.Хадеева, Н.Б.Бабаева, Т.К.Хамракулова, А.М.Геворгяна, Р.Х.Джиянбаевой, Э.Л.Круковской, К.З.Рахматуллаева, Л.В. Чапрасовой, И.П.Шестеровой, О.Ф.Файзуллаева, Н.Т.Турабова, Х.Х. Тураева, З.А.Смановой, А.М.Насимова, Э.Абдурахманова, Н.Х.Кутлимуротовой, Й.Ш. Эшмурзаева и других учёных. Однако исследования по

спектрофотометричес-кому определению ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием новых органических реагентов для экологического и аналитического контроля изучены недостаточно и не получили широкого практического применения.

Связь диссертационного исследования с планами НИР высшего образовательного заведения. Диссертационное исследование выполнено в рамках темы научно-исследовательских работ кафедры «Аналитическая химия» наци-онального университета Узбекистана «Мониторинг некоторых ионов ТТМ в объектах окружающей среды и разработка новых спектрофотометрических методов определения их микроколичеств» (2020-2025 гг.).

Целью исследования является разработка высокочувствительных и селективных спектрофотометрических методов определения ионов Fe(III) и Cu(II) на основе нового синтезированного азореагента.

Задачи исследования:

синтез нового моносодиевой соли реагента 4-амино-5-гидрокси-6-(пиридил-2-азо)-3-сульфонафталин-1-сульфоикислоты (4AGPASS) на основе нафталина и изучение его физико-химических свойств;

определение физико-химических свойств, спектральных характеристик, истинного молярного коэффициента поглощения, молярных соотношений компонентов в составе комплексов и констант равновесия комплексов 4AGPASS с ионами металлов;

определение уравнения градуировочного графика и селективности исследуемых аналитических реакций в присутствии различных ионов, а также определение ионов Fe(III) и Cu(II) в растворах, искусственных бинарных и сложных смесях, стандартных образцах промышленных сплавов, биологических объектах и реальных природных объектах;

определение правильности и воспроизводимости разработанных методик методом «введено–найдено», установление предела обнаружения и метрологическая оценка полученных результатов;

рекомендация спектрофотометрических методик определения ионов Fe(III) и Cu(II) в растворах с использованием нового азореагента 4AGPASS;

апробация разработанных методик в лабораторных условиях и разработка новых спектрофотометрических методов определения ионов Fe(III) и Cu(II) в реальных объектах, а также их применение при поиске рациональных решений анализа различных сложных объектов и материалов.

Объектами исследования являются искусственные смеси различного состава, стандартные образцы промышленных сплавов, природные и сточные воды, пищевые продукты и биологические объекты.

Предметом исследования являются реакции комплексообразования Fe(III) и Cu(II) с новым синтезированным реагентом 4AGPASS.

Методы исследования. В качестве методов исследования были использованы фотометрия, спектрофотометрия (UV–Vis), потенциометрия, ИК-, рамановская и ЯМР-спектроскопия, а также методы квантово-химических расчётов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

синтезирован новый селективный реагент 4AGPASS и определены его

температура плавления ($t=392\text{ }^{\circ}\text{C}$), молярный коэффициент поглощения ($\epsilon=3100$), а также константа диссоциации ($K_{\text{дисс.}}=8,9\cdot 10^{-8}$, $pK=7,05$);

установлены закономерности оптимизации условий спектрофотометрического определения комплексообразования с Fe(III) и Cu(II): в слабнокислой (ацетатный буфер, $pH = 5,0$) и сильнокислой (универсальный буфер, $pH = 2,30$) средах подчинение закону Бугера–Ламберта–Бера наблюдается соответственно в интервалах 5,0–35,0 и 1,0–6,0 мкг; установлено, что bathochromные смещения максимумов поглощения составляют $\Delta\lambda = 65$ и $\Delta\lambda = 100$ нм;

доказано, что регрессионные уравнения зависимости между аналитическим сигналом и концентрацией имеют вид: для Cu(II) – $Y_i = 0,0159 + 0,0452X_i$, для Fe(III) – $Y_i = 0,0180 + 0,0053X_i$; по графическому методу Толмачёва установлено, что $\epsilon_{\text{ист}}(\text{Cu}) = 14286 < \epsilon_{\text{ист}}(\text{Fe}) = 52631$, а чувствительность по Сэнделу составляет 0,0086 мкг/см² для Fe(III) и 0,0064 мкг/см² для Cu(II);

установлены пределы обнаружения (LOD), характеризующие селективность и чувствительность метода: для Fe(III) – 0,0536 мкг/см³, для Cu(II) – 0,226 мкг/см³. Рассчитано, что пределы количественного определения (LOQ, по критерию 10σ) составляют: для Fe(III) – 0,107 мкг/см³, для Cu(II) – 0,451 мкг/см³;

разработанные методики были применены для анализа промышленных сплавов, природных и сточных вод, пищевых продуктов и биологических объектов; установлено, что значения относительного стандартного отклонения (Sr) составляют $\leq 0,035$ для Cu(II) и $\leq 0,045$ для Fe(III), что подтверждает высокую воспроизводимость и статистическую достоверность результатов, а их аналитические и метрологические характеристики получили высокую оценку по критерию Стьюдента.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основании установленных оптимальных условий разработаны экономически дешёвые, экспрессные, чувствительные, селективные методики определения ионов Fe(III) и Cu(II) в составе бинарных и сложных смесей промышленных образцов, природных водах, минералах и других объектах окружающей среды с использованием реагента 4AGPASS;

определены оптимальные условия разработанных методик: pH среды и концентрация ионов Fe(III) и Cu(II) и реагента 4AGPASS, состав разных буферных смесей, электронные спектры поглощения, мольные соотношения, а также другие физико-химические характеристики;

разработаны экологически безопасные селективные спектрофотометрические методы определения ионов Fe(III) и Cu(II) в объектах окружающей среды с использованием 4AGPASS.

Достоверность результатов исследования доказана такими современными физико-химическими методами как спектрофотометрия, потенциометрия, квантово-химические расчеты, ИК-, ¹H-ЯМР, ¹³C-ЯМР и Рамановская спектроскопия. Выводы сделаны на основе экспериментальных результатов, обработанных методами математической статистики.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в установлении

методик спектрофотометрического определения в широком диапазоне рН и концентраций, истинного молярного коэффициента светопоглощения (ϵ), чувствительности по Сенделю, разности $\Delta\lambda$, характеризующая контрастность реакции, констант равновесия и устойчивости (β_k) обеспечивающие разработки новых спектрофотометрических методик определения ионов Fe(III) и Cu(II) в объектах окружающей среды.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке новых экологически безопасных селективных спектрофотометрических методик, предназначенных для определения ионов Fe(III) и Cu(II) в объектах окружающей среды. Данные методики позволяют проводить анализ в индивидуальных растворах, искусственных бинарных смесях, природных водах, промышленных сплавах и сложных смесях при концентрациях на уровне ПДК и значительно ниже.

Внедрение результатов исследования На основе научных результатов, полученных при разработке спектрофотометрических методов определения ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием ОАР 4AGPASS:

данные, полученные по разработанной методике определения ионов Cu(II), были использованы для совершенствования аналитических и метрологических характеристик в 6 статьях, опубликованных в зарубежных научных журналах с высоким импакт-фактором (Journal of Molecular Modeling, 2024, 30(11):376, Scopus, IF = 2,5; Journal of Chemistry Letters, 2025, 6(3):157–165; 2025, 6(4):317–324; 2026, 7(1):41–53, Scopus, IF = 2,5; Chemical Review and Letters, 2025, 8(5):955–966, Chemical Abstracts, Scopus, IF = 5,2; Theoretical Chemistry Accounts, 2025, 144(1):7, IF = 1,5 и др.). В результате создана возможность для сопоставления новых разработанных методик и улучшения их аналитических и метрологических характеристик;

методика спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) внедрена в химическую лабораторию Узбекско-Испанского совместного предприятия ООО «Махам-Uzbekistan» (справка Узбекско-Испанского совместного предприятия ООО «Махам-Uzbekistan» № 26/03-14 от 26 марта 2026 года). В результате разработанные методики с использованием реагента 4AGPASS позволили определять Fe(III) и Cu(II) в составе сточных вод;

методика спектрофотометрического определения ионов Cu(II) была внедрена в практику лаборатории предприятия ООО «Metal Procesing Technology» для анализа сточных вод (справка ООО «Metal Procesing Technology» от 17 апреля 2026 года). В результате разработанные методики позволили повысить оперативность, точность, чувствительность и селективность определения микроколичеств ионов Fe(III) и Cu(II), а также улучшить их аналитические и метрологические характеристики.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были доложены и обсуждены на 11 научно-практических конференциях, в том числе на 6 международных и 5 Республиканских.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 16 научных работ, из них 5 научных статей, в том числе 3 в Республиканских и 2 в международных журналах, рекомендованных для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD) Высшей аттестационной комиссией при Академии наук Республики

Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и научно-практическая значимость темы диссертации. Определены цель и задачи исследования, а также его объект и предмет. Показано соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Кроме того, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость работы. Также приведены выводы о возможностях внедрения результатов исследования в практику, сведения об опубликованных научных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Оптические и другие физико-химические методы определения ионов железа(III) и меди(II) (обзор литературы)»** представлен анализ литературных данных по теме исследования. В ней проанализированы научные работы зарубежных и отечественных учёных, посвящённые определению ионов Fe(III) и Cu(II) в водных средах с использованием различных реагентов оптическими и физико-химическими методами. Использование органических аналитических реагентов в аналитической химии имеет важное значение при определении ионов металлов. Такие реагенты характеризуются способностью образовывать устойчивые окрашенные комплексные соединения при взаимодействии с ионами металлов, обеспечивая высокую чувствительность и селективность. В результате анализа литературы были оценены возможности существующих методов определения Fe(III) и Cu(II), что создало научную основу для выбора цели, задач и направления настоящего исследования.

Во второй главе диссертации **«Синтез реагента, установление оптимальных условий комплексообразования и определение спектрофотометрических характеристик его металлокомплексов»** изложены методы приготовления стандартных и рабочих растворов. Проведена идентификация реагента и изучены качественные реакции с ионами Fe(III) и Cu(II). Определены оптимальные условия реакций комплексообразования, выбраны их спектрофотометрические характеристики и установлены мольные соотношения компонентов в составе комплексов. Кроме того, спектрофотометрическим методом оценены чувствительность реагента и его комплексов с ионами Fe(III) и Cu(II), а также некоторые их физико-химические константы.

Структура реагента подтверждена методами электронно-квантово-химических расчётов, ИК-, рамановской и ПМР-спектроскопии. Установлено, что для очистки производных пиридина достаточно однократной перекристаллизации. По результатам спектрофотометрических исследований выявлено, что пиридилазосоединение, использованное в данной работе в качестве органического аналитического реагента, имеет одну максимальную

полосу поглощения в области 505–525 нм, что свидетельствует о чистоте полученного вещества и отсутствии таутомерии. Для определения состояния реагента в растворе изучена зависимость его спектра поглощения от pH среды. Полученные результаты показали, что реагент имеет максимумы поглощения в областях 500–505 нм при pH 2,0–3,0; 515–525 нм при pH 5,0–7,0; 515–525 нм при pH 7,0–10,0 и 510–525 нм при pH 10,0–13,0.

Согласно результатам расчётов установлено, что наибольшая плотность электронного облака сосредоточена на группах -N=N- и -ОН, а также теоретически подтверждено участие именно этих групп в реакции комплексообразования. На основании полученных результатов при постоянных концентрациях металла и реагента определена зависимость оптической плотности растворов комплексов от длины волны. Максимальная оптическая плотность наблюдалась для комплекса Fe(III)-4AGPASS в ацетатном буферном растворе при pH 5,0–5,2 а для комплекса Cu(II)-4AGPASS – в универсальном буферном растворе при pH 2,3–2,4.

Для обеспечения полного связывания ионов металлов в комплекс были проведены серии экспериментов, в которых при постоянной концентрации ионов металлов количество реагента постепенно увеличивали с целью определения его оптимального объёма. По результатам исследований установлено, что для полного перевода 30,0 мкг Fe(III) и 10,0 мкг Cu(II) в комплекс достаточно соответственно 1,0 и 1,2 см³ 0,05%-ного раствора 4AGPASS. В последующих экспериментах использовались данные объёмы, определённые как оптимальные количества реагента.

Высокая чувствительность, контрастность и устойчивость во времени комплексов Fe(III) и Cu(II) с 4AGPASS позволили использовать их для спектрофотометрического определения. Установлено, что в оптимальных условиях реакции ионов металлов с 4AGPASS подчиняются закону Бугера–Ламберта–Бера. Между оптической плотностью растворов комплексов и концентрацией ионов Fe(III) и Cu(II) наблюдается линейная зависимость, сохраняющаяся в диапазонах концентраций 5,0–35,0 мкг/25 см³ для Fe(III) и 1,0–6,0 мкг/25 см³ для Cu(II) (Рис. 1 и 2).

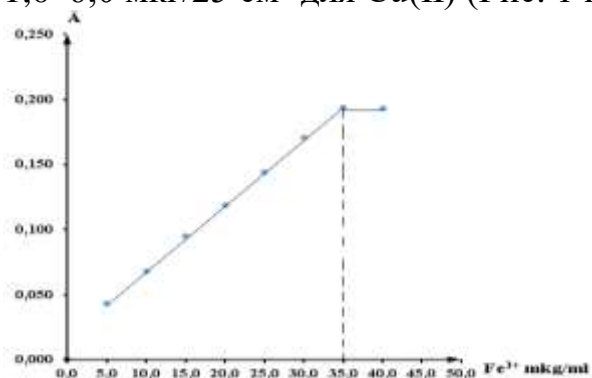


Рисунок 1. График подчинения комплекса Fe(III) с 4AGPASS закону Бугера–Ламберта–Бера

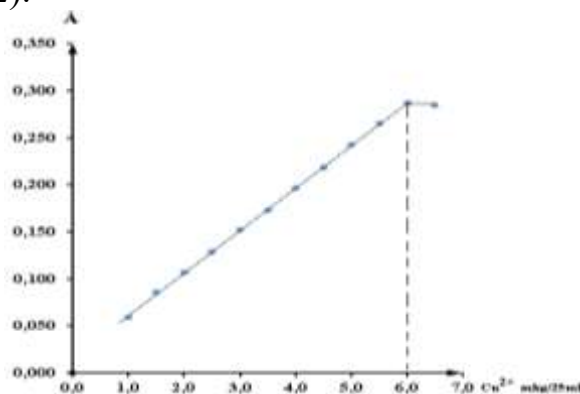


Рисунок 2. График подчинения комплекса Cu(II) с 4AGPASS закону Бугера–Ламберта–Бера

Полученные результаты (рисунки 3–4) показали, что состав комплексов Fe(III):(4AGPASS) = 1:3 и Cu(II):(4AGPASS) = 1:2 с реагентом 4AGPASS остаётся одинаковым при определении различными независимыми методами. Составные молярные соотношения комплексов железа(III) и меди(II) с

реагентом 4AGPASS были определены методами смещения равновесия, спектрофотометрического титрования, изомолярных серий и прямолинейным методом Асмуса. При постоянном общем объеме раствора ($V_{Me}^{n+} + V_{HR} = \text{const}$) растворы солей металлов и реагента в изомолярных количествах смешивали в антибатных соотношениях, что позволило определить соотношения реагирующих компонентов. При этом суммарное количество грамм-молей двух компонентов в общем объеме раствора оставалось постоянным (Рис. 3-4).

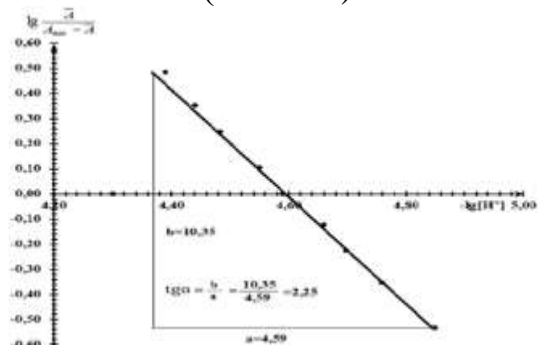


Рисунок 3. График определения составного мольного соотношения комплекса Cu(II) методом сдвига равновесия

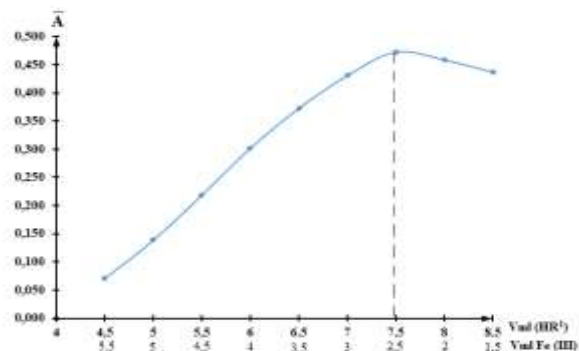


Рисунок 4. График определения составного мольного соотношения комплекса Fe(III) с 4AGPASS методом изомолярных серий

В оптимальных условиях комплексообразования были определены основные спектрофотометрические характеристики окрашенных реакций, включая максимумы поглощения реагента и комплексов, разность $\Delta\lambda$, характеризующую контрастность реакции, а также другие показатели (табл. 1).

На основании полученных спектрофотометрических данных методом Комаря были определены молярный коэффициент поглощения (ϵ) и константа диссоциации ($K_{дисс.}$) реагента 4AGPASS. По результатам расчётов установлено, что $\epsilon_{HR} = 3100$ и $K_{дисс.} = 8,9 \cdot 10^{-8}$ ($pK = 7,05$), при этом концентрация реагента 4AGPASS во всех экспериментах составляла $1,081 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³. Эти значения характеризуют протолитические свойства данного ОАР. Полученные результаты объясняются процессом диссоциации, происходящим вследствие отщепления протона от группы -ОН в нафтольном ядре молекулы реагента. Известно, что протолитические свойства органических аналитических реагентов являются одним из важных факторов, определяющих их способность к комплексообразованию с ионами металлов.

Как отмечается в работах А. И. Бусева, стабильные значения спектральных характеристик аналитических реагентов: молярного коэффициента поглощения и константы диссоциации свидетельствуют о высокой чистоте реагента и его спектральной однородности. Поэтому полученные значения ϵ и pK подтверждают достаточную степень очистки реагента 4AGPASS и его эффективность в качестве хромогенного реагента для спектрофотометрического анализа. Диссоциированная форма данного реагента способна образовывать устойчивые окрашенные комплексные соединения с ионами металлов, что расширяет его аналитические возможности при определении Fe(III) и Cu(II). Для реакций комплексообразования ионов железа(III) и меди(II) реагентом 4AGPASS методом Толмачёва были

Таблица 1

Спектрофотометрические характеристики комплексов Fe(III) и Cu(II)

Состав комплекса	$\lambda_{\text{max.}}$, нм			$\epsilon_{\text{ист}}$ (MR_n)	$K_{\text{равн.}}$	$K_{\text{нест.}}$	$\beta_{\text{уст.}}$	$\lg\beta$
	M:(HR)	(HR)	$\Delta\lambda$, nm					
Fe-(HR) ₃	590	525	65	52631	0,092	$1,15 \cdot 10^{-18}$	$8,71 \cdot 10^{17}$	17,94
Cu-(HR) ₂	600	500	100	14286	1,13	$3,847 \cdot 10^{-17}$	$2,59 \cdot 10^{16}$	16,41

определены истинный молярный коэффициент поглощения ($\epsilon_{\text{ист.}}$) и константа равновесия ($K_{\text{равн.}}$) (таблица 1). При этом использовали растворы одинаковой концентрации (моль/л): $C_{\text{Fe}^{3+}} = C_{\text{HR}} = 5,371 \cdot 10^{-4}$ и $C_{\text{Cu}^{2+}} = C_{\text{HR}} = 3,147 \cdot 10^{-4}$.

Третья глава диссертации называется «**Физико-химические свойства и селективность комплексообразования 4AGPASS с ионами железа(III) и меди(II)**». В результате квантово-химических расчётов, выполненных с использованием программы Gaussian 09 (рисунок 5), было установлено распределение частичных зарядов атомов в молекуле 4AGPASS. Результаты расчётов показали, что отрицательные заряды в молекуле преимущественно локализуются на атомах кислорода гидроксильной группы и атомах азота азогруппы. Эти атомы являются координационно-активными центрами и могут выступать донорными центрами при образовании комплексов с ионами Fe(III) и Cu(II).

Результаты квантово-химических расчётов теоретически обосновывают электронное строение молекулы реагента и её способность к комплексообразованию с ионами металлов. С использованием программы Gaussian 09 были определены эффективные заряды наиболее электронно-насыщенных атомов молекулы 4AGPASS.

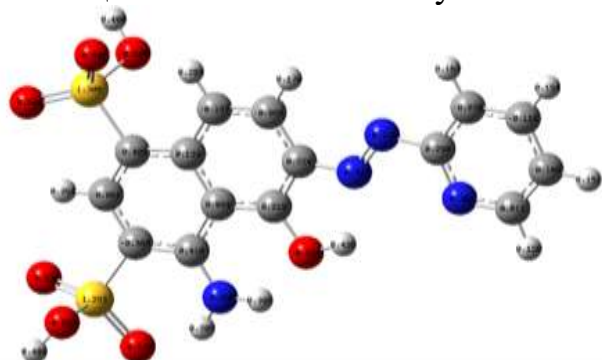


Рис. 5. Распределение электронной плотности на атомах молекулы 4AGPASS, рассчитанное с использованием программы Gaussian

Согласно полученным результатам, донорноакцепторные связи в комплексах Fe(III) и Cu(II) преимущественно образуются через атом азота пиридинового кольца и атом азота диазогруппы, расположенный вблизи пиридинового кольца. Кроме того, ионное взаимодействие осуществляется через атом кислорода гидроксильной группы нафтольного кольца.

С целью идентификации структуры азосоединений были получены ИК-спектры реагента и его комплексов с Fe(III) и Cu(II). Результаты показали, что анализ ИК-спектральных данных позволил установить последовательные структурные изменения, происходящие в ходе синтеза 4AGPASS. В спектре исходного вещества – 2-аминопиридина – полосы поглощения в области $3441\text{--}3294\text{ см}^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям $\nu(\text{N-H})$, характерным для первичной аминогруппы. Кроме того, полосы при 1624 и 1593 см^{-1} относятся к колебаниям $\nu(\text{C=N})$, характерным для пиридинового кольца, а также к колебаниям $\nu(\text{C=C})$ ароматического скелета, что подтверждает наличие гетероциклической ароматической системы.

После стадии диазотирования в спектре полученного промежуточного соединения исчезновение полос валентных колебаний $\nu(\text{N-H})$, характерных для первичной аминогруппы, свидетельствует о превращении аминогруппы в diazonиевую группу. Одновременно появление новой полосы поглощения около 1651 см^{-1} , соответствующей валентным колебаниям $\nu(\text{N}\equiv\text{N}^+)$ diazonиевой группы, подтверждает успешное диазотирование 2-аминопиридина.

В ИК-спектре Чикагской кислоты широкая полоса поглощения при 3460 см^{-1} относится к валентным колебаниям $\nu(\text{O-H})$ фенольной гидроксильной группы. Интенсивные полосы, наблюдаемые в области $1360\text{--}1340 \text{ см}^{-1}$, соответствуют асимметричным валентным колебаниям сульфатной группы $\nu_{\text{as}}(\text{SO}_3^-)$, тогда как полосы в области $1240\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$ относятся к симметричным валентным колебаниям сульфатной группы $\nu_{\text{s}}(\text{SO}_3^-)$. Эти спектральные особенности подтверждают наличие дисульфатированной ароматической системы. Результаты ИК-спектроскопического анализа комплексных соединений Fe(III) и Cu(II), образованных исследуемым реагентом 4AGPASS, приведены в таблице 2.

Таблица 2

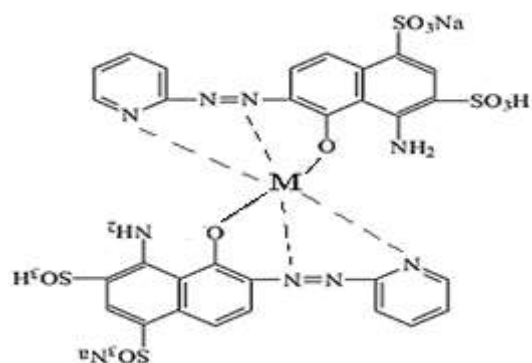
ИК-спектры комплексов Fe(III) и Cu(II)

Функциональная группа	4AGPASS $\nu \text{ см}^{-1}$	Комплекс Cu(II)-HR, $\nu, \text{ см}^{-1}$	Характер спектральных изменений	Научный вывод
фенольная $\nu(\text{OH}^-)$ группа	3445	3398-3277	смещение вниз, уменьшение интенсивности.	фенольная группа $-\text{OH}$ депротонируется и координируется с Cu(II) через атом кислорода.
$\nu(\text{N}=\text{N})$ азогруппа	1651	1637-1555	смещение и изменение интенсивности	azo guruhdagi N atomlari Cu(II) bilan donor-akseptor o'zaro ta'sirga kirishgan
$\nu(\text{C}=\text{C})$ ароматическая	1605	~ 1600	незначительное смещение	перераспределение электронной плотности в ароматической π -системе
$\nu(\text{C}=\text{N})$ пиридиновая	1566	1550-1540	смещение в низкочастотную область	атом азота пиридинового кольца участвует в координации
Ароматическая $-\text{NH}_2$ $\delta(\text{N-H})$	1512	~ 1510	существенных изменений не наблюдается	группа $-\text{NH}_2$ не участвует в координации
$\nu_{\text{as}}(\text{SO}_3)$	1339	1335-1340	практически не изменяется	сульфатные группы не участвуют в координации
$\nu_{\text{s}}(\text{SO}_3)$	1165	1160-1168	без изменений	группа SO_3^- выполняет структурную функцию
$\nu(\text{S-O})$	1061, 1022	~ 1060 , ~ 1020	без изменений	группа SO_3^- выполняет структурную функцию
$\gamma(\text{C-H})$ ароматическая	810, 748	805-745	незначительное смещение	ароматический скелет сохраняется
$\nu(\text{Cu-O}), \nu(\text{Cu-N})$	-	600-450	появление новых полос	образуются координационные связи Cu-O и Cu-N

В ИК-спектре синтезированного азореагента 4AGPASS интенсивная полоса поглощения при 1651 см^{-1} относится к валентным колебаниям $\nu(\text{N}=\text{N})$

азосвязи, что свидетельствует об образовании новой сопряжённой азосистемы в результате реакции азосочетания. Широкая полоса, зарегистрированная при 3445 см^{-1} , соответствует колебаниям $\nu(\text{O-H})$ фенольной гидроксильной группы. Полоса поглощения при 1338 см^{-1} относится к асимметричным валентным колебаниям сульфонатной группы $\nu_{\text{as}}(\text{SO}_3)$, а полосы при 1165 см^{-1} соответствуют симметричным валентным колебаниям сульфонатной группы $\nu_{\text{s}}(\text{SO}_3^-)$. Эти полосы свидетельствуют о сохранении сульфонатных функциональных групп.

Таким образом, результаты ИК-спектрального анализа однозначно подтверждают превращение аминогруппы в diaзониевую группу и образование сопряжённой азосистемы в результате последующей реакции азосочетания. Кроме того, сохранение в спектре фенольной гидроксильной и сульфонатных функциональных групп полностью соответствует предполагаемой молекулярной структуре нового синтезированного соединения 4AGPASS. Остальные функциональные группы практически не изменяются в ИК-спектрах всех комплексов. На основании результатов ИК-спектроскопического анализа, мольных соотношений компонентов и квантово-химических расчётов можно сделать следующий вывод: $2[\text{HR}]^{2-} + \text{M}^{n+} \rightarrow [\text{MR}_2]^{2-} + 2\text{H}^+$.



Для аналитического применения комплексов железа(III) и меди(II), образованных с реагентом 4AGPASS, при определении содержания ионов металлов использовали график зависимости измеряемой спектрофотометрическим методом величины «Y», то есть оптической плотности «A», от количества определяемого вещества «X».

Уравнения прямой линии для Fe(III) и Cu(II) имели вид:

$Y_i = 0,0180 + 0,0053X_i$ и $Y_i = 0,0159 + 0,0452X_i$ соответственно.

С целью оценки аналитических возможностей реагента и селективности метода, являющихся одними из важнейших его характеристик, было изучено влияние посторонних ионов на определение ионов Fe(III) и Cu(II), которое проводили по общей методике в оптимальных условиях.

Результаты проведённых исследований позволили оценить селективность спектрофотометрического определения ионов Fe^{3+} и Cu^{2+} с азореагентом 4AGPASS. Эксперименты показали, что оптимальные условия для определения ионов Fe^{3+} создаются в ацетатной буферной среде при $\text{pH} = 5,0$. В этих условиях ионы Fe^{3+} сохраняются в стабильном состоянии без гидролиза и образуют с азореагентом интенсивно окрашенный хелатный комплекс ($\lambda_{\text{max}} = 590 \text{ нм}$). Согласно полученным данным, не мешают определению ионы Na^+ , K^+ , (1:1000), NH_4^+ (1:500), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Co^{3+} (1:100); Cd^{2+} (1:40), а также анионы NO_2^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , ClO_4^- (1:100). Мешающее влияние оказывают катионы Cr^{3+} , Th^{4+} , Pb^{2+} (1:30), Tl^{3+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} , Ce^{3+} (1:20), Zn^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} (1:10), Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} (1:5), а также

анионы EDTA^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (1:5); $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , F^- (1:0,5). Для уменьшения влияния указанных ионов применяли их маскирование: $\text{Ni}^{2+}:\text{CN}^- = 1:6$, $\text{Co}^{2+}:\text{CN}^- = 1:6$, $\text{Cu}^{2+}:\text{NH}_3 = 1:4$. В результате мешающие ионы переходят в устойчивые комплексные формы в растворе и не вступают в реакцию с азореагентом.

Спектрофотометрическое определение ионов Cu^{2+} проводили в универсальной буферной среде при $\text{pH} = 2,34$. В данных кислотных условиях ионы Cu^{2+} образуют с азореагентом устойчивый окрашенный комплекс, характеризующийся интенсивным максимумом поглощения в видимой области спектра. Согласно результатам исследований, не оказывают мешающего влияния ионы Na^+ , K^+ , (1:1000), NH_4^+ (1:500), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Co^{3+} (1:100), Th^{4+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} (1:40), Hg^{2+} , Sn^{2+} (1:20), а также анионы F^- , NO_2^- , Cl^- , Br^- , CN^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} (1:100). Мешающее влияние оказывают катионы Cr^{3+} (1:30), Fe^{2+} , Pb^{2+} , Ce^{3+} (1:20), Mn^{2+} , Sb^{3+} , Ti^{3+} (1:10); Ni^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} (1:3), а также анионы $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (1:10), EDTA^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ (1:0,5). Поэтому для их маскирования использовали сильные комплексообразующие реагенты: установлено, что мешающее влияние ионов Fe^{3+} устраняется фторид-ионами F^- (1:6), ионов Co^{2+} -пероксидом водорода H_2O_2 (1:2), а ионами Ni^{2+} - цианид-ионами CN^- (1:6).

Таким образом, маскирование мешающих ионов соответствующими комплексообразующими реагентами и выбор оптимального значения pH среды позволяют проводить спектрофотометрическое определение ионов Fe^{3+} и Cu^{2+} с использованием азореагента с высокой селективностью и точностью.

В четвёртой главе диссертации под названием «**Практическое применение разработанных методов спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II)**» рассмотрены вопросы спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием раствора 4AGPASS. Разработанные спектрофотометрические методики и полученные экспериментальные результаты были обработаны на основе общепринятых правил и методов математической статистики, известных в мировой научной литературе.

Разработанная методика может быть использована для анализа искусственных смесей, природных и промышленных объектов (природных вод, сплавов, минералов, руд), а также других реальных объектов, включая пищевые продукты, кровь, печень и промышленные материалы.

При применении разработанной методики спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием 4AGPASS были использованы маскирующие реагенты. Для определения Fe(III) мешающее влияние ионов Ni^{2+} , Co^{2+} и Cu^{2+} устраняли образованием комплексов в соотношениях $\text{Ni}^{2+} : \text{CN}^- = 1:6$, $\text{Co}^{2+} : \text{CN}^- = 1:6$ и $\text{Cu}^{2+} : \text{NH}_3 = 1:4$. Для определения Cu(II) установлено и устранено мешающее влияние ионов Fe^{3+} , Co^{2+} и Ni^{2+} их маскированием соответственно фторид-ионами F^- (1:6), пероксидом водорода H_2O_2 (1:2) и цианид-ионами CN^- (1:6).

Полученные практические результаты позволили определять ионы Fe(III) и Cu(II) в природных объектах и промышленных материалах различного состава, как в присутствии отдельных не мешающих ионов металлов, так и при их совместном присутствии, а также в условиях наличия мешающих ионов. При приготовлении сложных искусственных смесей за

основу были взяты ионы, оказывающие мешающее влияние на определение ионов Fe(III) и Cu(II).

Согласно полученным результатам доказана возможность спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) в составе искусственных смесей, моделирующих состав реальных объектов. То, что значение относительного стандартного отклонения (S_r) в разработанной методике не превышает 0,0053 для Fe(III) и 0,0117 для Cu(II) что свидетельствует о её надёжности и правильности.

Разработанный чувствительный и селективный метод определения ионов железа(III) и меди(II) с использованием органического аналитического реагента (4AGPASS) был применён для анализа стандартных образцов промышленных сплавов (А 203-1, А 203-5, М115-1 и М123-1). Полученные результаты и данные их математической обработки представлены в таблице 3.

Как видно из результатов анализа стандартных промышленных образцов на основе алюминия и меди (таблица 3), метод спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием азореагента 4AGPASS характеризуется низким пределом обнаружения, высокой чувствительностью, селективностью и значением относительного стандартного отклонения (S_r), не превышающим 0,045.

Таблица 3

Результаты спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) в составе стандартных промышленных сплавов

Наименование образца, М, %	$V_{обр.}$, см ³	Содерж. M^{n+} в алик., мкг	\bar{A}	Найдено, M^{n+} , мкг, $\bar{X} \pm \Delta X$	S	S_r
<i>Определение ионов Fe(III) ($V_{HR}=1,0$ см³; $\lambda_{max}=590$ nm; pH=5,0; n=3; P=0,95; t_{рк}=4,303)</i>						
М115-1 (N9, NX98)	1,0	5,0	0,045	5,09±0,46	0,185	0,036
	2,0	10,0	0,072	10,13±0,27	0,109	0,010
	3,0	15,0	0,098	15,03±0,30	0,103	0,0069
АК12МК 203-5	2,2	5,28	0,046	5,28±0,47	0,19	0,035
	6,0	14,4	0,095	14,45±0,30	0,103	0,0072
	10,0	24,0	0,146	24,09±0,10	0,044	0,002
<i>Определение ионов Cu(II) ($V_{HR}=1,2$ см³; $\lambda_{max}=600$ nm; pH=2,30; n=3; t_{рк}=4,303)</i>						
АК12МК 203-1	1	3,30	0,165	3,29±0,05	0,021	0,006
	1,5	4,95	0,240	4,96±0,02	0,101	0,0013
	1,8	5,94	0,284	5,93±0,20	0,0815	0,0137
АК12МК 203-5	2,0	3,0	0,151	2,98±0,06	0,023	0,008
	3,0	4,5	0,217	4,45±0,05	0,020	0,004
	3,5	5,25	0,254	5,26±0,22	0,090	0,017
М 123-1	0,2	1,64	0,090	1,65±0,16	0,065	0,039
	0,4	3,28	0,165	3,30±0,12	0,047	0,014
	0,6	4,92	0,239	4,93±0,25	0,100	0,020

На основе исследований по оптимизации условий прямого спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) в индивидуальных и сложных смесях, а также в реальных объектах, было проведено их определение в составе природной родниковой воды, отобранной в Чаткальской горной системе Паркентского района Ташкентской области.

Методика анализа образцов: Объём пробы природной родниковой воды, отобранной из источников, расположенных в Чаткальской горной системе Ташкентской области, составлял 1,0 дм³. Пробу помещали в термостойкий стакан вместимостью 1000 см³, добавляли 10–12 см³ 1,0 н раствора HNO₃ и нагревали смесь на песчаной бане до состояния влажных солей. Полученный остаток растворяли в 10 см³ бидистиллированной воды и фильтровали в стакане вместимостью 100 см³.

Затем раствор количественно переносили в мерные колбы вместимостью 25,0 см³. Для оценки селективности методик в раствор вводили 5,0–10,0 мкг ионов Fe(III) и 1,0–2,0 мкг ионов Cu(II). Для устранения мешающего влияния посторонних ионов применяли маскирование: при определении Fe(III) использовали соотношения Ni²⁺:CN⁻ = 1:6, Co²⁺:CN⁻ = 1:6 и Cu²⁺ : NH₃⁻ = 1:4; при определении Cu(II) ионы Fe³⁺ маскировали F⁻ (1:6), ионы Co²⁺ - H₂O₂ (1:2), а ионы Ni²⁺ - CN⁻ (1:6).

После этого вносили комплексообразующие реагенты для связывания посторонних ионов, добавляли 5,0 см³ ацетатного буферного раствора или универсального буфера и 1,0 или 1,20 см³ раствора 4AGPASS с концентрацией 1,086·10⁻³ М. Объём доводили до метки бидистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность растворов измеряли на фотоколори-метре КФК-3 при λ = 590 нм и λ = 600 нм в кювете с толщиной слоя ℓ = 3,0 см относительно раствора сравнения. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) в природной родниковой воде (V_{вводы} = 1,0 дм³)

№	Введено, M ⁿ⁺ , мкг	Содерж. M ⁿ⁺ в растворе, обр. мкг	\bar{A}	Найдено, M ⁿ⁺ , мкг, $\bar{X} \pm \Delta X$	Количество M ⁿ⁺ , в образце, мкг	S	S _r
<i>Определение ионов Fe(III) (V_{HR} = 1,0 см³; λ_{max} = 590 нм; pH = 5,0; n = 5; P = 0,95; t_{pk} = 2,78)</i>							
1	-	11,75	0,080	11,75 ± 0,02	11,75	0,159	0,014
2	1,00	12,75	0,086	12,75 ± 0,20	11,75	0,166	0,013
3	2,00	13,77	0,091	13,77 ± 0,29	11,77	0,232	0,017
<i>Определение ионов Cu(II) (V_{HR} = 1,2 см³; λ_{max} = 600 нм; pH = 2,30; n = 5; t_{pk} = 2,78;)</i>							
1	-	2,92	0,148	2,92 ± 0,07	2,92	0,046	0,016
2	0,50	3,43	0,171	3,43 ± 0,05	2,93	0,059	0,017
3	1,00	3,95	0,194	3,95 ± 0,07	2,95	0,054	0,014

Согласно результатам анализа природных родниковых вод (таблица 4), методика спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием органического аналитического реагента 4AGPASS в найденных оптимальных условиях характеризуется высокой правильностью, надёжностью, селективностью, низким пределом обнаружения и значением относительного стандартного отклонения S_r, не превышающим 0,035. На основании этого было проведено спектрофотометрическое определение ионов Fe(III) и Cu(II) в природных родниковых водах методом «введено–найдено».

Разработанные на основе полученных оптимальных условий методики были апробированы для определения ионов Fe(III) и Cu(II) в составе сточных вод городов Ангрен, Паркент, Чирчик и Алмалык Ташкентской области (Табл. 5).

Методика анализа образцов: к 200 см³ сточной воды добавляли 1,0 см³ (1,5 см³) стандартного раствора Fe(III) концентрацией 5,0 мкг/см³ и 1,0 см³ (2,0 и 3,0 см³) стандартного раствора Cu(II) концентрацией 1,0 мкг/см³. Полученный раствор упаривали до состояния влажных солей, после чего остаток растворяли в 10,0 см³ дистиллированной воды. Затем раствор количественно переносили в мерные колбы вместимостью 25,0 см³.

Для повышения селективности методики вносили 1,0 см³ стандартного раствора ионов Fe(III) и 1,0 см³ стандартного раствора ионов Cu(II). При определении Fe(III) мешающее влияние ионов устраняли маскированием с образованием комплексов в соотношениях Ni²⁺:CN⁻ = 1:6, Co²⁺:CN⁻ = 1:6 и Cu²⁺:NH₃ = 1:4. При определении Cu(II) установлено и устранено мешающее влияние ионов Fe³⁺, Co²⁺ и Ni²⁺ путём их маскирования соответственно F⁻ (1:6), H₂O₂ (1:2) и CN⁻ (1:6).

После этого добавляли реагенты для связывания посторонних ионов, соответственно 5,0 см³ ацетатного буферного раствора или универсального буфера, а также 1,0 см³ и 1,20 см³ раствора (pH=5,0) органического аналитического реагента 4AGPASS концентрацией 1,086·10⁻³ М. Объём доводили до метки бидистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность растворов измеряли на приборе КФК-3 при λ = 590 нм и λ = 600 нм в кювете с толщиной слоя ℓ = 3,0 см относительно раствора сравнения (Табл. 5).

На основании полученных результатов (Табл. 5) можно заключить, что разработанные спектрофотометрические методики при анализе сточных вод характеризуются высокой селективностью и оперативностью.

Таблица 5

Результаты определения ионов Fe(III) и Cu(II) в составе сточных вод

№	Наименование территории	Введено M ⁿ⁺ , мкг	V _{обр.} , см ³	A	Найдено M ⁿ⁺ , мкг/25 см ³ , $\bar{X} \pm \Delta X$	Образец. M ⁿ⁺ , мкг	S	S _r
<i>Определение ионов Fe(III) (C_{HR}=0,05 %; V_{HR}=1,0 см³; λ=590 nm, pH=5,0; n=5; t_{рк}=2,78)</i>								
1	Ангрен	5,0	5,0	0,060	7,92±0,41	2,92	0,329	0,041
2	Паркент	5,0	5,0	0,062	8,34±0,44	3,34	0,354	0,042
3	Чирчик	5,0	5,0	0,067	9,32±0,16	4,36	0,166	0,018
4	Алмалык	5,0	5,0	0,070	9,81±0,19	4,69	0,370	0,037
<i>Определение ионов Cu(II) (C_{HR}=0,05 %; V_{HR}=1,2 см³; λ=600 nm, pH=2,30; n=5; t_{рк}=2,78)</i>								
1	Ангрен	1,0	5,0	0,163	3,25±0,04	2,25	0,035	0,011
2	Паркент	1,0	5,0	0,162	3,24±0,04	2,24	0,046	0,010
3	Чирчик	1,0	5,0	0,180	3,62±0,16	2,62	0,126	0,035
4	Алмалык	1,0	5,0	0,188	3,82±0,08	2,82	0,061	0,016

На основе полученных оптимальных условий было проведено определение ионов Fe(III) в составе изюма и ионов Cu(II) в составе грибов.

Методика анализа образцов: для определения ионов Fe(III) в изюме и ионов Cu(II) в грибах отбирали навески массой 5 г (с точностью ±0,0001 г) и

подвергали влажной минерализации в присутствии 10 см³ 65%-ной HNO₃. При необходимости добавляли 5 см³ 30%-ной H₂O₂ для обеспечения полного окисления органических веществ. После осветления растворы охлаждали, количественно переносили в мерные колбы вместимостью 50 или 100 см³ и доводили до метки дистиллированной водой. В результате получали рабочие растворы, содержащие ионы Fe(III) и Cu(II).

Затем в мерные колбы вместимостью 25 см³ вносили соответствующий объём раствора образца и создавали необходимые условия для определения. Для определения ионов Fe(III) добавляли 1,0 см³ 0,05%-ного раствора 4AGPASS и 5,0 см³ ацетатного буферного раствора с pH = 5,0. Для устранения влияния посторонних ионов применяли маскирование: при определении Fe(III) ионы Ni²⁺, Co²⁺ и Cu²⁺ связывали в комплексы при соотношениях Ni²⁺ : CN⁻ = 1:6, Co²⁺ : CN⁻ = 1:6 и Cu²⁺ : NH₃ = 1:4. При определении Cu(II) мешающее влияние ионов Fe³⁺, Co²⁺ и Ni²⁺ устраняли маскированием соответственно F⁻ (1:6), H₂O₂ (1:2) и CN⁻ (1:6). Для связывания посторонних ионов добавляли соответствующие комплексообразующие реагенты. В обоих случаях объём раствора доводили до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивали. Оптическую плотность образовавшихся окрашенных комплексов измеряли относительно раствора сравнения в кюветах с толщиной слоя $l = 3,0$ см при длинах волн $\lambda = 590$ нм для Fe(III) и $\lambda = 600$ нм для Cu(II). Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) в растительных продуктах (тобр. = 0,1000 г)

№	Продукт	Введено M ⁿ⁺ , мкг	V _{обр.} , см ³	\bar{A}	Найдено M ⁿ⁺ , мкг/25см ³	$\bar{X} \pm \Delta X$	Образец. Me ⁿ⁺ , мкг	S _r
($\lambda_{Fe^{3+}}=590$; V _{HR} =1,0 см ³ ; pH=5,0; n=5; P=0,95 t _{рк} =2,78)								
1	Изюм	5,0	5,0	0,073	10,30	10,30±0,59	5,30	0,045
($\lambda_{Cu^{2+}}=600$ nm; V _{HR} =1,2 см ³ ; pH=2,30; n=5; P=0,95; t _{рк} =2,78)								
2	Грибы	2,0	5,0	0,197	4,02	4,02±0,09	2,02	0,018

Согласно данным табл. 6, с использованием метода стандартных добавок успешно проведено определение ионов Fe(III) и Cu(II) в образцах изюма и грибов. Для Fe(III) в 5 см³ пробы получено значение 5,30 мкг, а для Cu(II) – 2,02 мкг. Низкие значения относительного стандартного отклонения свидетельствуют о высокой воспроизводимости метода. Полученные результаты подтверждают надёжность и практическую применимость спектрофотометрических методик на основе 4AGPASS.

Фотометрическое определение ионов Fe(III) и Cu(II) в биологических объектах. Для проведения исследования в качестве биологических объектов были отобраны печень и кровь сельскохозяйственных животных из фермерского хозяйства «Кизил тог», расположенного в Паркентском районе Ташкентской области.

Методика анализа образцов: из образцов печени и крови отбирали соответственно 30 г и 80 см³, высушивали при 80–90°C и упаривали до сухого остатка. Затем образцы окисляли в присутствии 12 см³ концентрированной HNO₃ и 5,0 см³ 30%-ного H₂O₂, упаривали до сухих солей и озоляли в

муфельной печи при 850-900°C. Полученную золу растворяли в 5 см³ раствора HCl (1:1), переносили в мерную колбу вместимостью 50 см³ и доводили объём до метки бидистиллированной водой.

Из полученного раствора отбирали аликвоты в мерные колбы вместимостью 25,0 см³ и методом стандартных добавок вносили в растворы Fe(III) в количестве (5,0 мкг) и Cu(II) (1,0 мкг). Для повышения селективности метода мешающее влияние посторонних ионов устраняли маскированием: при определении Fe(III) использовали соотношения Ni²⁺:CN⁻ = 1:6, Co²⁺:CN⁻ = 1:6 и Cu²⁺:NH₃ = 1:4; при определении Cu(II) ионы Fe³⁺ маскировали F⁻ (1:6), ионы Co²⁺-H₂O₂ (1:2), а ионы Ni²⁺ - CN⁻ (1:6).

Для связывания посторонних ионов добавляли соответствующие реагенты, после чего в раствор вносили 5,0 см³ смеси ацетатного и универсального буферов, а также соответственно 1,0 см³ и 1,20 см³ раствора 4AGPASS (1,086·10⁻³ М). Объём доводили до метки и перемешивали. Оптическую плотность образовавшихся комплексов измеряли на приборе КФК-3 при λ = 590 нм (Fe (III)) и λ = 600 нм (Cu(II)) в кювете с толщиной слоя ℓ = 3,0 см относительно раствора сравнения (Табл. 7).

Таблица 7

Результаты спектрофотометрического определения Fe(III) и Cu(II) в биологических объектах

№	Обнаруживаемый элемент	Введено M ⁿ⁺ , мкг	V _{обр.} , см ³	\bar{A}	Найдено M ⁿ⁺ , мкг. $\bar{X} \pm \Delta X$	Образец. M ⁿ⁺ , мкг	S _r
крупного рогатого скота							
1	Медь	1,0	5,0	0,238	4,91±0,05	3,91	0,007
2	Железо	5,0	5,0	0,162	27,16±0,40	22,16	0,012
крупного рогатого скота							
1	Железо	5,0	5,0	0,056	7,20±0,19	2,20	0,021
2	Медь	1,0	5,0	0,105	1,972±0,05	0,972	0,020

Таким образом, результаты выполненных исследований (таблицы 3–7) показали, что разработанная на основе выбранных оптимальных условий методика спектрофотометрического определения характеризуется значением S_r, не превышающим 0,045 определяемых ионов не выходят за пределы доверительной вероятности, что свидетельствует о правильности и воспроизводимости результатов. Методика отличается высокой селективностью и низким пределом обнаружения, в связи с чем может быть рекомендована для анализа реальных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Реагент 4AGPASS был синтезирован с выходом 99,48 % и очищен методом перекристаллизации. Стабильная воспроизводимость температуры плавления в интервале 391-393 °С подтвердила его индивидуальность и чистоту. Повышение температуры плавления комплексов, образованных с Cu(II) и Fe(III), до 420 °С и 421,5 °С соответственно свидетельствует об образовании устойчивых комплексов в результате координационного связывания. Для 4AGPASS были определены значения ε=3100 и K_{дис.} = 8,9·10⁻⁸

($pK = 7,05$).

2. Установлены оптимальные условия спектрофотометрического определения ионов Fe(III) и Cu(II) с использованием 4AGPASS. Максимумы поглощения наблюдались при $\lambda = 500$ нм и $pH = 2,30$ (при $pH = 5,0 - 525$ нм), для комплекса Cu(II)-(HR) при $\lambda = 600$ нм и для комплекса Fe(III)-(HR) при $\lambda = 590$ нм. Спектральный сдвиг $\Delta\lambda = 65-100$ нм обеспечивал высокую чувствительность метода. Оптимальными условиями комплексообразования являлись: для Fe(III)- $pH=5,0$ (ацетатный буфер), для Cu(II)- $pH=2,30$ (универсальный буфер). Стехиометрия комплексов подтверждена в соотношениях Cu(II):(HR)=1:2 и Fe(III):(HR) = 1:3. Область подчинения закону Бугера-Ламберта-Бера в $25,0$ см³ раствора составила 5,0-35,0 для Fe(III) и 1,0-6,0 мкг для Cu(II).

3. Впервые определены аналитические характеристики комплексов: $lg\beta(Cu) = 16,41$ и $lg\beta(Fe) = 17,94$. По методу Толмачёва установлены значения $\epsilon_{ист}(Cu) = 14286$ и $\epsilon_{ист}(Fe) = 52631$, что свидетельствует о высокой оптической активности комплекса Fe(III)-(HR). Чувствительность по Сэнделу составила $0,0086$ мкг/см² для Fe(III) и $0,0064$ мкг/см² для Cu(II). Установлено, что образующиеся комплексы сохраняют устойчивость в течение 130–90 минут.

4. Получены уравнения регрессии: для Cu(II) – $Y_i = 0,0159 + 0,0452 \cdot X_i$, для Fe(III) – $Y_i = 0,0180 + 0,0053 \cdot X_i$. Пределы обнаружения (LOD) составили: для Fe(III) $Q_{min} = 0,0536$ мкг/см³, для Cu(II) $Q_{min} = 0,226$ мкг/см³. Пределы количественного определения (LOQ, по критерию 10σ) составили: для Fe(III) – $0,279$ мкг/см³, для Cu(II) – $0,107$ мкг/см³. Значения относительного стандартного отклонения составили Cu(II) $\leq 0,0117$ и Fe(III) $\leq 0,0060$, что подтверждает высокую воспроизводимость и статистическую надёжность методов.

5. Квантово-химические расчёты (Gaussian), а также данные ИК-, рамановской и ЯМР-спектроскопии (¹H и ¹³C) подтвердили, что фенольный атом кислорода, азо- и пиридиновый атомы азота являются основными донорными центрами, участвующими в образовании координационных связей M–O и M–N. Ионообменные исследования показали анионную природу образующихся комплексов.

6. Разработанные спектрофотометрические методики успешно применены для анализа искусственных смесей, промышленных сплавов, полиметаллических руд, природных и сточных вод, а также биологических объектов. Степень восстановления составила 98,9–101,3 %, а значения относительного стандартного отклонения S_r находились в пределах 0,045–0,035, что подтверждает высокую точность методов и их пригодность для практического применения. Разработанные методики рекомендованы для анализа реальных объектов и внедрены в лабораториях узбекско-испанского совместного предприятия «Махам-Uzbekistan» ООО и ООО «Metal Processing Technology».

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC
DEGREES DSc.03/2025.27.12.K.01.13.M AT THE NATIONAL
UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

TULIYEV BEKHRUZ

**DEVELOPMENT OF SPECTROPHOTOMETRIC METHODS FOR THE
DETERMINATION OF IRON(III) AND COPPER(II) IONS**

02.00.02 - Analytical chemistry

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
CHEMICAL SCIENCES**

Tashkent – 2026

The title of Doctor of Philosophy (PhD) has been registered by the Supreme attestation commission under the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.2.PhD/K976.

The dissertation was carried out at the National University of Uzbekistan.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available online www.ik-kimyo.nuuz.uz and on the website of "ZiyoNet" information-educational portal www.ziynet.uz.

Scientific supervisor: Nurmuxammat Turabovich Turabov
candidate of chemical sciences, professor

Official opponents: Abduraxmonov Ergashboy
doctor of chemical sciences, professor

Ashurov Mansur Allanazarovich
doctor of Philosophy (PhD) in Chemical
Sciences, Senior Researcher

Leading organization: Tashkent Institute of Chemical Technology


The defense of the dissertation will take place on «21» 07 2026 at «12⁰⁰» at the meeting of the Scientific council DSc.03/2025.27.12.K.01.13.M at the National University of Uzbekistan (Address: 100174, Tashkent, University street 4. Ph.: (99871) 246-07-88, fax: (+99824) 246-02-24. E-mail: ilmiy_kengash@nuu.uz).


The dissertation has been registered at the Information Resource Centre of National University of Uzbekistan under №157 (Address: 100174, Tashkent, University 4. Ph.: (+99871) 246-07-88, 277-12-24; fax: (+99871) 246-53-21; 246-02-24; e-mail: ilmiy_kengash@nuu.uz)


The abstract of the dissertation has been distributed on «10» 07 2026 year

Protocol at the register № 16 dated «08» 07 2026 year



 S.S. Xoliqov
Chairman of Scientific council
Council on awarding of scientific degrees,
doctor of chemical sciences, professor

 U.U. Ruzmetov
Scientific Secretary of Scientific
Council on awarding of scientific degrees,
doctor of chemical sciences, dosent

 Z.A. Smanova
Chairman of Scientific Seminar
Council for awarding of scientific degrees,
doctor of chemical sciences, professor

INTRODUCTION (Abstract of the PhD Thesis)

The aim of this research: Development of highly sensitive and selective spectrophotometric methods for the determination of Fe(III) and Cu(II) ions based on a newly synthesized azo reagent.

The objects: Artificial mixtures of various compositions, standard samples of industrial alloys, natural and wastewater, food products, and biological objects were selected as the objects of the study.

The scientific novelty of the research consists of the following:

a new selective organic analytical reagent 4AGPASS was synthesized, and its melting point, molar absorptivity coefficient, and dissociation constant were determined, proving that $\epsilon = 3100$ and $K_d = 8.9 \cdot 10^{-8}$ ($pK = 7.05$);

the conditions for complex formation with Fe(III) and Cu(II) ions and the optimization regularities of spectrophotometric determination were established in weakly acidic acetate medium ($pH = 5.0$) and strongly acidic universal buffer medium ($pH = 2.34$); compliance with the Beer–Lambert–Bouguer law was observed in the ranges of $5.0\text{--}35.0 \mu\text{g}$ and $1\text{--}6 \mu\text{g}$, respectively; the bathochromic shifts of absorption maxima were found to be equal to $\Delta\lambda=65 \text{ nm}$ and $\Delta\lambda = 100 \text{ nm}$;

the regression equations describing the relationship between analytical signals and concentration were determined as follows: Cu(II): $Y_i = 0.0159 + 0.0452X_i$; Fe(III): $Y_i = 0.0180 + 0.0053X_i$. According to the Tolmachyov method, $\epsilon_{\text{real}}(\text{Cu}) = 14286 < \epsilon_{\text{real}}(\text{Fe}) = 52631$, while the Sandell sensitivity was proved to be $0.0086 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ for Fe(III) and $0.0064 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ for Cu(II);

the lower limits of detection (LOD) characterizing the selectivity and sensitivity of the method were determined as follows: Fe(III) – $0.0536 \mu\text{g}/\text{cm}^3$; Cu(II) – $0.226 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. The limits of quantification (LOQ, according to the 10σ criterion) were found to be: Fe(III) – $0.107 \mu\text{g}/\text{cm}^3$; Cu(II) – $0.451 \mu\text{g}/\text{cm}^3$;

the developed methods were applied to the analysis of industrial alloys, natural and wastewater, food products, and biological objects. The obtained relative standard deviation values were Fe(III) ≤ 0.045 and Cu(II) ≤ 0.035 , confirming the high reproducibility and statistical reliability of the methods. The high analytical and metrological characteristics were confirmed by Student's criterion.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained in the development of spectrophotometric methods for the determination of Fe(III) and Cu(II) ions using the 4AGPASS reagent:

the data obtained by the developed method for the determination of Cu(II) ions were used to improve the analytical and metrological characteristics in 6 articles published in foreign high-impact scientific journals (Journal of Molecular Modeling, 2024, 30(11):376, Scopus, IF = 2.5; Journal of Chemistry Letters, 2025, 6(3):157–165; 2025, 6(4):317–324; 2026, 7(1):41–53, Scopus, IF = 2.5; Chemical Review and Letters, 2025, 8(5):955–966, Chemical Abstracts, Scopus, IF = 5.2; Theoretical Chemistry Accounts, 2025, 144(1):7, IF = 1.5 and others). As a result,

opportunities were created for comparing newly developed methods and improving their analytical and metrological characteristics;

the spectrophotometric methods for the determination of Fe(III) and Cu(II) ions have been implemented into the chemical laboratory of the Uzbek-Spanish joint venture, LLC “Maxam-Uzbekistan” (reference of the Uzbek-Spanish joint venture, LLC, “Maxam-Uzbekistan” № 26/03-14 of March 26, 2026). As a result, the developed methods enabled the determination of Fe(III) and Cu(II) in wastewater using the 4AGPASS reagent;

the spectrophotometric method for the determination of Cu(II) ions has been applied to wastewater analysis in the laboratory practice of the LLC “Metal processing technology” (reference of the LLC “Metal processing technology” of April 17, 2026). As a result, the developed methods enabled an increase in the speed, accuracy, sensitivity, and selectivity in the determination of micro-amounts of Fe(III) and Cu(II) ions, as well as an improvement in their analytical and metrological characteristics.

The dissertation: consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references, and appendices, with a total volume of 117 pages.

E'LON QILINGAN ISHLARI RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; part I)

1. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Tuliyeв B.A., Xusanov B.M., Qilicheva X.B. Temir(III) ionini 4-amino-5-gidroksi-6-(piridil-2-azo)-3-sulfonaftalin-1-sulfokislolaning mononatriyli tuzi (HR) bilan kompleks hosil qilish reaksiyasining optimal sharoitlarini aniqlash. Development of science, 2026. – Vol.2, №3. – B.158–163. (OAK Rayosatining 2025-yil 12-fevraldagi 367-son qarori bilan kiritilgan). <https://devos.uz/article.php?id=4103>

2. Тулиев Б.А., Турабов Н.Т., Тоджиев Ж.Н., Абдикаххорова С.Ш., Алимбоев Д.А., Тулиева Д.А. Мониторинг микроколичеств ионов железа(III) и меди(II) в объектах окружающей среды (обзорная статья) // Central Asian Food Engineering and Technology (CAFET). – 2026. – Т. 4, № 3. – С. 54–62. (OAK Rayosatining 2023-yil 28-fevraldagi 333/5-son qarori bilan kiritilgan). <https://zenodo.org/records/19679193>

3. Tuliyeв B.A., Turabov N.T., Todjiyev J.N., Xusanov B.M., Matchanov A.D., Gafurov M.B., Esonov R.S. 4-amino-5-gidroksi-6-(2-piridilazo)-3-sulfonaftalin-1-sulfon kislotasining mononatriyli tuzining analitik tavsiflari. Central Asian Food Engineering and Technology, 2026. – Vol.4, Issue 1. – B.88–89. (OAK Rayosatining 2023-yil 28-fevraldagi 333/5-son qarori bilan kiritilgan). <https://zenodo.org/records/18888589>

4. Турабов Н.Т., Тоджиев Ж.Н., Тулиев Б.А., Хусанов Б.М. Мононатриевая соль 4-амино-5-гидрокси-6-(2-пиридилазо)-3-сульфонафталина-1-сульфоновой кислоты как аналитический реагент для определения иона железа(III). Universum: химия и биология, 2026. – №4(142). – С. 43-46. (02.00.00. № 2). <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/22270>

5. Todjiyev J.N., Turabov N.T., Tuliyeв B.A., Turaeva G.S., Xusanov B.M., Yunusov Kh.E., Gazieva A.S., Pulatova G.U., Smanova Z.A. Spectrophotometric determination of microconcentrations of zinc(II) and copper(II) in water and industrial alloys using a new chromogenic reagent. Chemical Review and Letters, 2024. – Vol.7, – P.388–403. IFISC=0.92. (№ 3. Scopus IF=6,4. № 8. Chemical Abstracts CAS). https://www.chemrevlett.com/article_198145.html

II bo'lim (II часть; II part)

6. Тулиев Б.А., Турабов Н.Т., Тоджиев Ж.Н., Абдикохорова С.Ш., Алимбоев Д.А. Определение ионов Cu(II) и Fe(III) с использованием нового азоорганического аналитического реагента (HR) // Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби элеми». – Алматы: Қазақ университеті, 2026. – С. 273. <https://library.ziynet.uz/book/147343>

7. Tuliyeв B.A., Turabov N.T., Todjiyev J.N., Alimboyev D.A., Tuliyeва D.A. Применение нового азоорганического реагента для определения ионов меди(II) и железа(III) в объектах растительного происхождения // «Козыбаевские чтения – 2026: экосистема будущего, синергия технологий и развития человеческого капитала» Международная научно-практическая конференция (к 95-летию М. К. Козыбаева). – Петропавловск: Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, 2026. – Т. 2. – С. 683–686.

<https://library.ziyonet.uz/book/147352>

8. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Tuliyeu B.A., Alimboyev D.A. (HR) reagentini Fe(III) va Cu(II) ionlari bilan komplekslarining optik zichlik qiymatining eritma muhitiga bog'liqligini aniqlash // "Neft-gazkimyo, yoqilg'i sanoati, polimerlar va yuqori molekulyar birikmalar sohasida innovatsion ishlanmalarni raqamlashtirish istiqbollari hamda ekologik jihatlarining ilg'or muhandislik yechimlari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya materiallari. – Buxoro. Buxoro davlat texnika universiteti, 2026. – 3-tom. – B. 641–643. <https://library.ziyonet.uz/book/147338>

9. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Tuliyeu B.A., Alimboyev D.A. Cu(II) ionini aniqlash uslubida aniqlash usulining to'g'riligi va qayta tiklanuvchanligi. International scientific-practical conference materials, Modern Science: Problems, Innovations and Development Prospects, London, 2026. – B.102–106. <https://library.ziyonet.uz/book/147335>

10. Turabov N.T., Tuliyeu B.A. Cu(II) VA Fe(III) ionlarini yangi azo organik analitik reagent (HR^{2-}) bilan aniqlash uchun darajalangan grafik tenglamasini hisoblash // Xalqaro ishtirokdagi ilmiy-amaliy konferensiya Leadership&visionary-2026 Toshkent tezislar to'plami 11 Aprel 2026. – B. 263-264 <https://library.ziyonet.uz/book/147331>

11. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Tuliyeu B.A., Qaxramonova S.B. 4-amino-5-gidroksi-6-(piridil-azo) naftalin-1,3-disulfokislotaning monokaliyli tuzining analitik tavsiflari // «Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari, yechimlari va rivojlantirish istiqbollari» xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari. – Denov, 2025. – B. 100–103. <https://library.ziyonet.uz/book/147346>

12. Turabov N.T., Tuliyeu B.A., Todjiyev J.N., Eshmurzayev Y.Sh. Fe(III) ionlarining kompleks hosil qilish reaksiyasining optimal sharoitlarini aniqlash. Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari, Toshkent, 2023. – B.597–599. <https://library.ziyonet.uz/book/147333>

13. Tuliyeu B.A., Turabov N.T., Todjiyev J.N., Eshmurzayev Y.Sh. Analitik kimyoda qo'llaniladigan organik reagentlarni sintez qilish. Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari, Toshkent, 2023. – B.600–602. <https://library.ziyonet.uz/book/147333>

14. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Eshmurzayev Y.Sh., Tuliyeu B.A. Cu(II) ionlarining kompleks hosil qilish reaksiyasining optimal sharoitlarini aniqlash. Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari, Toshkent, 2023. – B.603–605. <https://library.ziyonet.uz/book/147333>

15. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Tuliyeu B.A. Fe(III) va Cu(II) ionlari komplekslari tarkibini muvozanat siljishi usuli yordamida aniqlash // "Fan va ishlab chiqarish sohalarida zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari integratsiyasi" mavzusidagi (xalqaro olimlar ishtirokida) ilmiy-amaliy anjumani materiallari to'plami. – Toshkent–Urganch, 2025. – B. 566–567. <https://library.ziyonet.uz/book/147349>

16. Turabov N.T., Todjiyev J.N., Tuliyeu B.A. 4-amino-5-gidroksi-6-(piridil-2-azo)-3-sulfonaftalin-1-sulfokislotaning natriyli tuzining biologik faolligini PASS (online) dasturida tekshirish // "Fan va ishlab chiqarish sohalarida zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari integratsiyasi" mavzusidagi (xalqaro olimlar ishtirokida) ilmiy-amaliy anjumani materiallari to'plami. – Toshkent–Urganch, 2025. – B. 564–565 <https://library.ziyonet.uz/book/147349>

Avtoreferat “Kimyo va kimyoviy texnologiyasi” jurnali
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi (01.07.2026).



№ 10-3279

Босишга рухсат этилди: 01.07.2026 йил
Бичими 60x84 1/16. «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулда чоп этилди.
Шартли босма табағи 3,9. Адади 100 . Буюртма № 85
Тел: (77) 300 99 09
Гувоҳнома реестр № 10-3279
«IMPRESS MEDIA» MChJ босмаҳонасида чоп этилди.
Тошкент шаҳри, Қушбеги кўчаси, 6-уй.

